



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VĚTRÁNÍ A CHLAZENÍ BYTU V PANELOVÉM DOMĚ

VENTILATION AND COOLING SYSTEM FOR AN APARTMENT IN BLOCK OF FLATS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Uřičář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Filip Uřičář**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Větrání a chlazení bytu v panelovém domě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

U podstřešního bytu, umístěného v panelovém domě z počátku 80. let minulého století, došlo vlivem zateplení a výměny oken ke zhoršení provětrávání bytu, což se projevuje zejména v zimním období, kdy koncentrace oxidu uhličitého v pobytových místnostech nezhledka překračuje hranici 3000 ppm. V letním období dochází k přehřívání bytu, kdy teploty v místnostech dosahují 28 – 30 °C, přičemž díky nedostatečnému provětrávání bytu je velice obtížné předchlazovat byt v průběhu noci.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je navrhnout systém větrání a chlazení podstřešního bytu v panelovém domě.

Seznam doporučené literatury:

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook. 2013, Fundamentals. SI edition. Atlanta: ASHRAE, 2013, 1 sv. (různé stránkování) : obr., tabulky, grafy + 1 CD-ROM. ISBN 978-1-936504-46-6.

SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. : obr., čb. a bar. fot., tabulky, grafy, bar. příl. ISBN 80-8076-037-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem větrání a chlazení podstřešního bytu v panelovém domě, postaveném v 80. letech 20. století, a skládá se z pěti hlavních částí. V první hlavní části je uvedena rešerše současného stavu poznání v oblasti větrání a chlazení obytných prostor, ve druhé je podrobně popsán řešený byt, ve třetí jsou provedeny výpočty pro optimální návrh větrání a chlazení, ve čtvrté se nachází navrhovaná řešení a následně bylo provedeno zhodnocení navržených řešení s celkovým shrnutím.

Návrh větrání a chlazení bytu byl proveden dle projekčních postupů, za dodržení platných norem, optimalizován k dosažení žádaného efektu a s ohledem na požadavky majitele bytové jednotky.

Jako řešení bylo navrženo větrání bytu větrací jednotkou Jablotron Futura a tři varianty chlazení bytu. Po vyhodnocení všech variant chlazení bylo jako nejvhodnější označeno chlazení systémem multisplit od firmy Sinclair.

Klíčová slova

Rekuperace, větrání, tepelné čerpadlo, chladicí strop, koncentrace CO₂, obytné prostředí, podstřešní byt

Abstract

This Master's Thesis deals with the design of ventilation and cooling of an under roof flat in a tenement building, built in the 1980s, and consists of five main parts. Within the first main part, the thesis is dedicated to the research of the current state of knowledge in the area of ventilation and cooling of residential premises, secondly, there is a detailed description of a particular flat, thirdly, the calculation for the optimal design of ventilation and cooling are made and, in the fourth part, suggested solutions are proposed with the following evaluation of them including the overall summary.

The design of ventilation and cooling was carried out according to the design procedures with respect to the relevant standards and optimized to achieve the desired effect with respect to the requirements of the owner of a housing unit.

As a solution, the ventilation of a flat by the Jablotron Futura's ventilating unit and three variants of a flat cooling were proposed. After the evaluation of all cooling variants, the Sinclair's multisplit system of cooling was chosen as the most suitable one.

Key words

Recuperation, ventilation, heat pump, cooling ceiling, concentration of CO₂, residential environment, under roof flat

Bibliografická citace

Citace tištěné práce:

UŘIČÁŘ, Filip. *Větrání a chlazení bytu v panelovém domě*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117288>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

Citace elektronického zdroje:

UŘIČÁŘ, Filip. *Větrání a chlazení bytu v panelovém domě* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117288>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne

.....

Podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu této diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D., za poskytnuté materiály, odborné rady a konzultace.

Velké díky patří dále všem, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Obsah

1	Úvod.....	15
2	Teoretická část.....	16
2.1	Větrání	16
2.1.1	Požadavky na větrání dle ČSN 73 0540-2 [4]	16
2.1.2	Škodliviny	16
2.1.3	Tepelná pohoda prostředí	18
2.1.4	Rozdělení větrání.....	19
2.1.5	Koncentrace CO ₂ v místnosti	19
2.1.6	Požadovaná výměna vzduchu	20
2.1.7	Vlhkost vzduchu.....	21
2.1.8	Větrací zařízení.....	22
2.1.9	Tlakové ztráty.....	23
2.2	Chlazení	25
2.2.1	Sálavé chladicí systémy.....	25
2.2.2	Zdroje chladu.....	30
2.2.3	Split a multisplit systémy	31
2.2.4	Tepelné zisky.....	31
2.2.5	Skládování tepelné energie (chladu)	40
2.2.6	Klimatizace.....	40
2.3	Vytápění.....	41
3	Popis bytu.....	42
4	Stanovení požadavků na větrací a chladicí systém	44
4.1	Potřebná výměna vzduchu.....	44
4.2	Tepelné zisky	46
4.2.1	Vzorový výpočet	46
4.2.2	Potřebný chladicí výkon.....	54
5	Řešení	57
5.1	Větrání	57
5.1.1	Tlakové ztráty.....	57
5.2	Chlazení	59
5.2.1	Varianta 1	59
5.2.2	Varianta 2	60
5.2.3	Varianta 3	60

5.2.4	Velikost akumulční nádrže	61
5.2.5	Výkon sálavých panelů	61
5.2.6	Dostupný chladicí výkon	62
6	Diskuse	64
7	Závěr	65
	Seznam použitých zdrojů	67
	Seznam použitých zkratk.....	70
	Seznam použitých symbolů	71
	Seznam obrázků	75
	Seznam tabulek	76
	Seznam příloh.....	77

1 Úvod

V současné době se stále více zvyšují nároky na tepelnou pohodu prostředí. V českých klimatických podmínkách se už nejedná pouze o vytápění během otopného období, ale lidé čím dál tím častěji požadují chlazení v průběhu letních měsíců. To klade větší požadavky na projektanty a na spotřebu energií. Za účelem co nejvyšší efektivity a co nejmenších dopadů na životní prostředí je vhodné provádět výpočty a optimalizace pro každý jednotlivý projekt. Znalosti v této oblasti budou v budoucnu jistě velmi ceněny, protože se bez nich nejen lidé, ale také různé technologie neobejdou.

V obytných stavbách často opomíjenou nebo z důvodu pořizovacích nákladů úmyslně vynechávanou částí, je realizace aktivního větrání s rekuperací tepla. Z hlediska energetických úspor, tepelné pohody i zdravotní nezávadnosti obytného prostředí však bude brzy jistě stejnou nezbytností, jako dříve vytápění.

Cílem práce je provést návrh chlazení a větrání pro konkrétní podstřešní byt v panelovém domě v Brně z počátku 80. let 20. století, u kterého, dle zadání, došlo vlivem za-teplení a výměny oken ke zhoršení provětrávání bytu infiltrací, což se projevuje zejména v zimním období, kdy koncentrace oxidu uhličitého v obytných místnostech nezřídka překračuje hranici 3 000 ppm. V letním období dochází k přehřívání bytu, kdy denní teploty v místnostech dosahují 28–30 °C, přičemž je velmi obtížné předchlazovat byt v průběhu noci.

Aby bylo možné správné provedení návrhu, jsou potřeba teoretické znalosti uvedené ve druhé kapitole této práce a vstupní parametry uvedené v kapitole třetí. Následují samotné výpočty ve čtvrté kapitole. Na závěr byl proveden návrh vhodného řešení větrání a chlazení bytu.

2 Teoretická část

2.1 Větrání

Větrání je výměna vnitřního vzduchu za venkovní [1]. Bude zde řešeno především větrání obytných prostor, které jsou předmětem této práce.

Větrání je důležité pro snížení koncentrace škodlivin ve vnitřních prostorech, případně udržení tepelné pohody, k čemuž se často přidávají chlazení, vytápění a regulace relativní vlhkosti vnitřního vzduchu.

Výměna vzduchu probíhá také netěsnostmi budovy (tzv. infilrací), avšak dále se bude pro případ řešeného bytu zanedbávat jako mnohokrát menší vzhledem k níže uvedeným [2].

Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3] musí být v pobytových místnostech zajištěn přívod minimálně $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ vzduchu na osobu nebo minimální intenzita větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$, což má zajistit dostatečnou kvalitu vnitřního vzduchu.

Dle ČSN 73 0540-2 [4] se doporučuje využít systémů nuceného rovnotlakého větrání za využití vzduchotechnických zařízení se zpětným získáváním tepla.

2.1.1 Požadavky na větrání dle ČSN 73 0540-2 [4]

- Zajištění hygienické nezávadnosti a požadované kvality vnitřního vzduchu.
- Zajištění možnosti regulace výkonu zařízení podle aktuálních provozních požadavků v dostatečném rozsahu hodnot podle potřeby.
- Zamezení šíření hluku mezi jednotlivými místnostmi vzduchotechnickým potrubím.
- Zajištění možnosti pravidelného čištění a revize.
- Zajištění dostatečné účinnosti rekuperace tepla a případně také vlhkosti.

2.1.2 Škodliviny

Škodliviny jsou látky, které negativně působí na lidi, zvířata a rostliny. Jejich výskyt se hodnotí z kvantitativního hlediska dle koncentrací, v jakých se v ovzduší nachází [5]:

- Hmotnostně ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- Objemově (ppm, %)

a jejich maximální koncentrace udávají právní předpisy a technické normy [6]. K množství vznikajících škodlivin ve vnitřních prostorech je třeba přizpůsobit výměnu vzduchu, aby jejich koncentrace nepřesáhla maximální přípustnou mez a pokud možno, aby se udržela v doporučených hodnotách, které jsou nižší než hodnoty maximální přípustné.

Procesu znečišťování ovzduší se říká *emise* a stavu znečištění se říká *imise* [7].

Ke zjištění množství škodlivin v ovzduší je třeba změřit jejich koncentraci. To se provádí použitím různých metod. Konkrétní metoda se volí na základě konkrétních podmínek a požadavků [7].

Vodní pára (H_2O)

Vodní pára je voda v plynném skupenství. Člověk ji vydechuje objemově přibližně 5 % [1]. V obytných prostorech může dále vznikat například ze sušení prádla, vaření a sprchování. Způsobuje vysokou vlhkost vzduchu, která má za následek zhoršenou tepelnou pohodu prostředí, proto je nutné ji odvádět (větrat).

Přípustná hodnota relativní vlhkosti pro obytné prostory se nachází v rozmezí 35–70 %. Pokud je vlhkost vzduchu nižší, jsou vysoušeny sliznice dýchacích cest, což má za následek vyšší riziko onemocnění. Pokud je vlhkost naopak vyšší, snižuje se tepelná pohoda prostředí a hrozí kondenzace vodních par na studených místech, kde se následně mohou tvořit plísně [5].

Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je plyn, který slouží jako hlavní ukazatel kvality vzduchu. V obytných prostorech ho produkují především lidé, ale vzniká také např. spalováním plynu při vaření na plynovém sporáku. Člověk ho vydechuje objemově přibližně 4 % [5]. Dle hygienických směrnic je jeho největší přípustná koncentrace objemově 0,5 %, ale v pobytových místnostech nesmí jeho koncentrace dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3] překročit 1 500 ppm (0,15 % objemově).

Radon (Rn)

Radon je radioaktivní plyn, jehož přítomnost člověk nedokáže svými smysly zjistit. Při rozpadu vyzařuje α a β záření. Do obytných prostor proniká uvolňováním ze stavebních konstrukcí a z podloží [8] a k jeho vyvětrávání se v mnoha případech nepohlíží. Proto je lepší řešit již samotnou příčinu (minimalizovat jeho uvolňování do budovy), nikoliv až důsledek (jeho vyvětrávání) [1].

Zápachy

Zápachy jsou plyny v ovzduší, které mohou mít organický nebo anorganický původ a jsou vnímány čichem. Mohou v objektu vznikat nebo do něj vnikat z vnějšího prostředí [5]. Mají velký vliv na kvalitu vzduchu a pohodu prostředí.

Aerosoly

Aerosoly jsou částice v kapalném nebo tuhém skupenství, které se vyskytují ve vzduchu.

Tuhé částice nazýváme *prachem* [5]. Prach vzniká rozpadem a rozkladem organických i anorganických látek, případně z výrobních procesů [1]. Čím jsou prachové částice menší, tím jsou nebezpečnější, protože dokážou vnikat hlouběji do dýchacích cest.

Kapalné částice nazýváme *mlhou*. V ovzduší se nejčastěji vyskytuje vodní mlha, která se za škodlivinu považuje jen v některých případech. Dále mohou existovat například mlhy olejů, chladicích kapalin, různých kyselin apod. [7]

Nadměrné teplo

S nadměrným teplem se české domácnosti potýkají především v období letních měsíců, kdy bývají nejvyšší teploty venkovního vzduchu a Slunce dodává více tepelné energie za zemský povrch, přestože je Slunce v zimě k Zemi blíže (perihélium) než v létě (afélium). V létě je totiž severní polokoule Země přikloněna ke Slunci, zatímco v zimě je od něj odkloněna [9]. Z toho důvodu je také Slunce v zimě níže nad obzorem a tepelný tok zachycený v atmosféře je vyšší [10]. Tepelné zisky od slunečního záření budou vypočítány v kapitole 4.2 této práce.

Dále vzniká nadměrné (odpadní) teplo při vaření a provozování elektrospotřebičů, především těch s vysokým příkonem.

Také člověk je zdrojem tepla. Tepelná produkce záleží především na činnosti, kterou vykonává. U normálního člověka, který je definován jako člověk výšky 175 cm, hmotnosti 75 kg a s plochou povrchu těla 1,9 m² je tepelná produkce v závislosti na činnosti dle Chyského [11] uvedena v tab. 1.

Tab. 1 – Tepelná produkce člověka v závislosti na činnosti [11]

Činnost	Tepelná produkce [W]
Sezení	90-95
Čtení	115-125
Lehká fyzická práce	120-140
Chůze	245

Choroboplodné zárodky

Patří mezi ně viry, bakterie, spory plísní, aj., které se nacházejí v ovzduší. Člověku hrozí riziko nákazy nebo jiných zdravotních komplikací. Nemohou existovat samostatně, ale jsou vždy na nějakém nosiči (např. prachové částici), proto je lze eliminovat intenzivní výměnou a filtrací vzduchu [1].

Další škodliviny

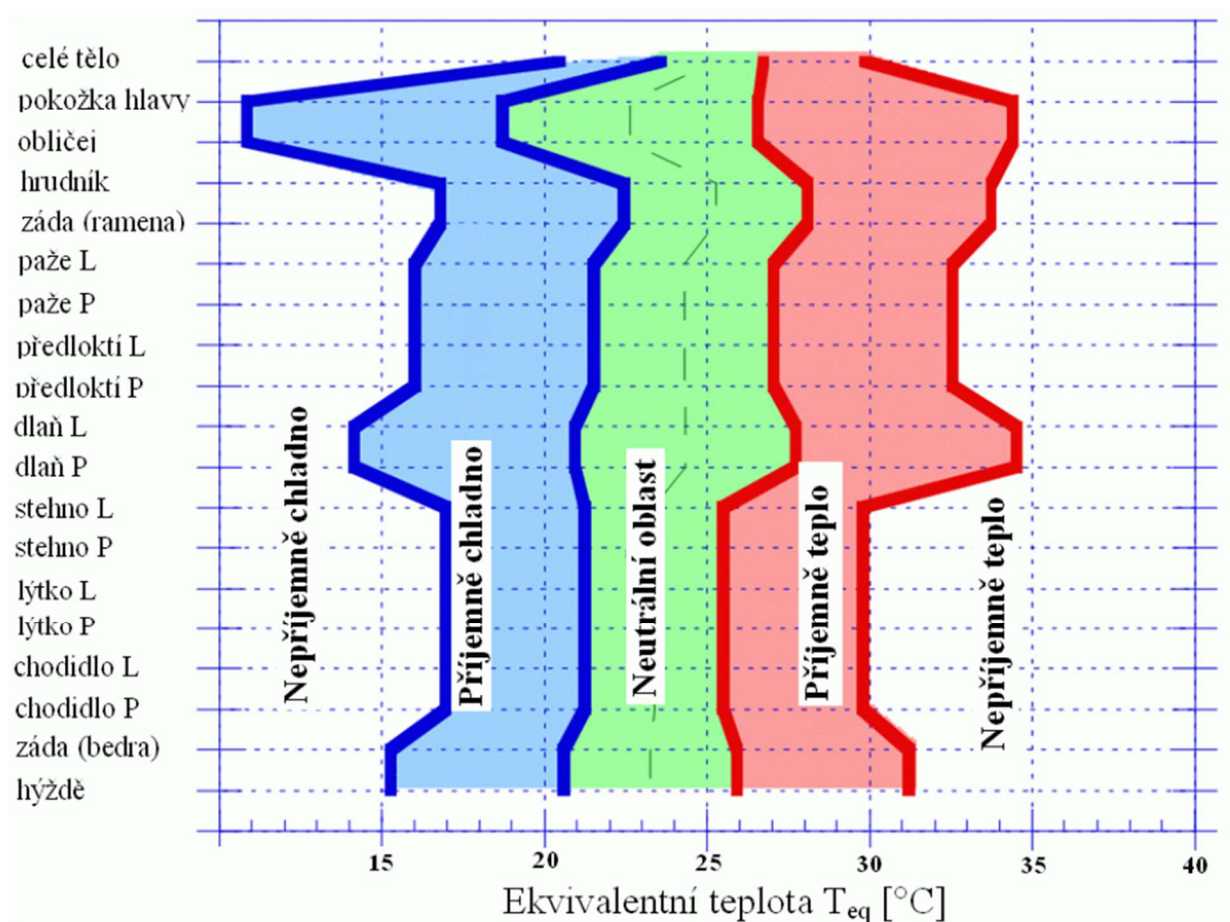
Mezi další škodliviny lze zařadit například CO, NO_x, hluk nebo světelné znečištění. Ty se však při větrání obytných prostor neřeší.

2.1.3 Tepelná pohoda prostředí

Pocit pohodlí je definován jako stav mysli, který vyjadřuje spokojenost s prostředím [12] a je individuálním pocitem každého člověka [13].

Na tepelnou pohodu prostředí má vliv teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu, intenzita turbulence, relativní vlhkost, činnost člověka, jeho oblečení, aktuální psychický a fyzický stav a aklimatizace. Pro hodnocení tepelné pohody prostředí je třeba znát dopad každého tohoto parametru [12] [13].

Pro zhodnocení tepelné pohody prostředí byly sestaveny komfortní diagramy [11]. Ukázka diagramu komfortních zón podle ekvivalentní teploty dle ČSN EN ISO 14505-2 [14] se nachází na obr. 1.



Obr. 1 – Příklad diagramu komfortních zón [15] podle ekvivalentní teploty dle ČSN EN ISO 14505-2 [14]

2.1.4 Rozdělení větrání

Větrání lze rozdělit do několika základních kategorií:

Celkové

Při celkovém větrání probíhá výměna vzduchu v celém objemu místnosti. Používá se v místech, kde nelze přesně určit polohu vzniku škodlivin nebo kde jsou zdroje škodlivin rovnoměrně rozmístěny, tedy také v obytných místnostech [1].

Místní

Při místním větrání se přivádí nebo odvádí vzduch z lokálního, předem daného místa, ve kterém je velký zdroj emise škodlivin (odsávání vzduchu) nebo kde je třeba přiváděným vzduchem například něco chladit (přivádění vzduchu) [1].

Přirozené

Při přirozeném větrání se využívá pouze fyzikálních principů – rozdílu hustot a tlaků – k výměně vzduchu [1].

Přirozené větrání může probíhat aerací (od spodní části budovy nahoru), infiltrací (přes netěsnosti), provětráváním (otevřená okna) nebo šachtovým větráním [16].

Nucené

Přirozené větrání často nebývá dostatečné z hlediska zajištění konstantní a dostatečné kvality vzduchu, proto přichází na řadu nucené větrání, které je zajišťováno ventilátory.

Ventilátory mohou být pro přívod vzduchu, odvod vzduchu nebo obojí současně. Podle poměru mezi tokem přiváděného a odváděného vzduchu rozlišujeme větrání podtlakové, rovnotlaké a přetlakové [1].

Součástí větracích jednotek pro nucené větrání mohou být, mimo jiné, chladiče či ohřívače čerstvého vzduchu, zařízení pro zajištění optimální vlhkosti přiváděného vzduchu a výměníky, jejichž úkolem je zajistit snížení tepelných ztrát větráním.

Hybridní

Hybridní větrání je kombinací přirozeného a nuceného a používá se k optimalizaci spotřeby energie [16].

2.1.5 Koncentrace CO₂ v místnosti

Člověk při klidném dýchání bez zvýšeného energetického výdeje vydechuje objemově okolo 4 % CO₂, 5 % vodní páry, 16 % O₂, a 75 % N₂ [1]. Z toho lze vypočítat, za jak dlouho se sníží v místnosti kvalita vzduchu pod doporučenou hodnotu, kdy a jak intenzivně je potřeba začít větrat.

Pro výpočet množství přiváděného vzduchu na osobu, tepelného zisku větráním, koncentrace CO₂ v místnosti a času k dosažení určité koncentrace CO₂ v místnosti byl vytvořen program v softwaru Microsoft Office Excel, který je přílohou P1 této práce.

Přínosem výpočtu je určení objemových průtoků vzduchu ve větraných místnostech.

Objemový tok větracího vzduchu je dle Janotkové [1]:

$$O \cdot dk = \dot{V}_p \cdot k_p \cdot d\tau + S_s \cdot d\tau - \dot{V}_p \cdot k \cdot d\tau \quad (1)$$

Kde:

O	$[\text{m}^3]$	objem místnosti
dk	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	změna koncentrace škodliviny v čase $d\tau$
\dot{V}_p	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový tok přiváděného vzduchu
k_p	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	koncentrace škodliviny v přiváděném vzduchu
k	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	okamžitá koncentrace škodliviny
$d\tau$	$[\text{s}]$	čas
S_s	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$	množství vznikající škodliviny

2.1.6 Požadovaná výměna vzduchu

Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3] musí být v pobytových místnostech zajištěno v době pobytu osob minimální množství přiváděného vzduchu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu nebo minimální intenzita větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$ a koncentrace CO_2 nesmí překročit $1\,500 \text{ ppm}$.

Po dosažení vhodných hodnot do vzorce (1) je zřejmé, že pro udržení koncentrace CO_2 na hodnotě $1\,500 \text{ ppm}$ je potřeba v místnosti vyměnit 15 m^3 vzduchu na osobu za hodinu, což s rezervou odpovídá požadavku na minimální množství přiváděného vzduchu ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. [3]. Pro udržení koncentrace CO_2 v interiéru na hodnotě $1\,000 \text{ ppm}$, při které se většinou nastavuje spínání vzduchotechnických zařízení, je potřeba vyměnit 26 m^3 vzduchu na osobu za hodinu.

Kromě vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3] řeší výměny vzduchu několik norem a každá stanovuje jiné požadované hodnoty. V tab. 2 se nachází jejich výběr.

Výměna vzduchu je doporučena také pro dobu, kdy větraná místnost není využívána. Dle normy ČSN 73 0540-2 [4] je pro tuto dobu doporučena nejnižší intenzita výměny vzduchu $n_{\text{min},N} = 0,1 \text{ h}^{-1}$, není-li stanoveno jinak.

Normy dále předepisují požadavky na odvod vzduchu z kuchyně, koupelny a WC a každá stanovuje jiné hodnoty. V tab. 3 se nachází jejich výběr.

Tab. 2 – Požadované výměny vzduchu dle různých norem [4] [17] [18]

Norma	Dělení	Intenzita větrání neobsazené místnosti $[\text{h}^{-1}]$	Intenzita větrání $[\text{h}^{-1}]$	Dávka na osobu $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
ČSN EN 15665-Z1	minimální hodnota	0,3	0,3	15
	doporučená hodnota	-	0,5	25
ČSN EN 15251	1. kategorie (350 ppm CO_2 nad venkovní koncentrací)	0,1–0,2	0,7	36
	2. kategorie (500 ppm CO_2 nad venkovní koncentrací)	-	0,6	25
	3. kategorie (800 ppm CO_2 nad venkovní koncentrací)	-	0,5	15
ČSN 73 0540-2	-	0,1	0,3–0,6	15–25

Tab. 3 – Požadavky na odvod vzduchu dle různých norem [4] [17] [18]

Norma	Dělení	Kuchyně [m ³ ·h ⁻¹]	Koupelny [m ³ ·h ⁻¹]	WC [m ³ ·h ⁻¹]
ČSN EN 15665-Z1	minimální hodnota	100	50	25
	doporučená hodnota	150	90	50
ČSN EN 15251	1. kategorie (350 ppm CO ₂ nad venkovní koncentrací)	100	72	50
	2. kategorie (500 ppm CO ₂ nad venkovní koncentrací)	72	54	36
	3. kategorie (800 ppm CO ₂ nad venkovní koncentrací)	50	36	25
ČSN 73 0540-2	-	odkaz na jiné předpisy		

2.1.7 Vlhkost vzduchu

Pokud se ve vzduchu nachází voda, jedná se o tzv. vlhký vzduch. Voda se ve vzduchu může nacházet jako sytá pára, přehřátá pára, kapalina nebo tuhá látka [19].

Vlhkost vzduchu lze vyjádřit [19]:

- absolutně (udává, jaká hmotnost H₂O je obsažena v jednotce objemu vlhkého vzduchu [kg·m⁻³]),
- měrně (udává, jaká hmotnost H₂O je obsažena v kilogramu suchého vzduchu [kg/kg_{s.v.}]),
- relativně (udává, jaký je poměr mezi hmotnostmi vodní páry v jednotce objemu vlhkého vzduchu a maximální hmotnostní vodní páry v jednotce objemu vlhkého vzduchu, která se do vlhkého vzduchu při daných klimatických podmínkách vejde [-, %]).

K určení parametrů vlhkého vzduchu slouží například Mollierův diagram vlhkého vzduchu [19]. Z něj vyplývá, že při konstantním tlaku se se zvyšující se teplotou do vzduchu vejde více vodní páry. Naopak, pokud je vlhký vzduch dostatečně ochlazen, dojde k podkročení teploty, při níž je dosaženo 100% relativní vlhkosti (tzv. teplota rosného bodu [19]) a vodní pára začne kondenzovat.

Ve vzduchu v interiéru je předpokládána přítomnost H₂O pouze ve formě páry a jakékoli jiné skupenství je nežádoucí. Z tohoto důvodu je třeba zabránit kondenzaci. Na jakémkoli povrchu, který má nižší teplotu, než je teplota rosného bodu (to mohou být například stropní chladičové panely, okna v zimě...) k ní bude docházet. Na takto postižených površích vznikají kapky vody, mokré mapy a je to ideální prostředí pro tvorbu plísní. Pokud teplota povrchu klesne pod bod mrazu, kapalná voda na něm začne namrzat.

Při kondenzaci vodní páry dochází k uvolňování latentního tepla, což má při chlazení za následek další nežádoucí tepelné zatížení [19].

Z těchto důvodů je potřeba chladič strop navrhovat tak, aby na něm nedocházelo ke kondenzaci. Toho lze dosáhnout snížením vlhkosti vzduchu v interiéru a tím snížením teploty rosného bodu nebo vhodnou povrchovou teplotou.

Při chlazení interiéru většinou není snižování vlhkosti vzduchu smysluplné, jelikož by mohlo dojít k nižší vlhkosti vzduchu, než je doporučená a odvlhčování by bylo značně energeticky náročné. Proto je nutné přistoupit k dostatečně vysoké teplotě chladičové plochy.

Ve výměnících tepla vzduchotechnických jednotek ke kondenzaci vzdušné vlhkosti běžně dochází, proto musí být vyřešen odvod kondenzátu. V zimních měsících z tohoto důvodu může dojít k přesušování interiéru a zamrznutí vody ve výměníku.

2.1.8 Větrací zařízení

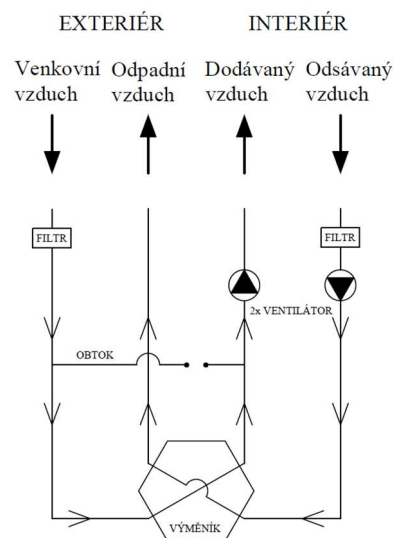
Větrací zařízení pro obytné prostory se skládá ze tří hlavních částí:

- větrací jednotka,
- výustky,
- distribuční potrubí.

Větrací jednotka

Větrací jednotka se skládá z několika hlavních částí [22]:

- ventilátory pro přívod čerstvého vzduchu a odvod odpadního vzduchu,
- výměník pro zpětné získávání tepla (ZZT) a v některých případech i pro zpětné získávání vlhkosti,
- displej, ovladače, systém řízení,
- filtry čerstvého a odpadního vzduchu,
- tělo jednotky.



Obr. 2 – Schéma větrací jednotky s rekuperací, upraveno z [20] [21]

Ventilátory musí být dostatečně výkonné, aby byly schopné překonat tlakové ztráty [23], které budou vypočítány v kapitole 575.1.1.

Pro řešenou aplikaci bude využito větrací jednotky Jablotron Futura, která má technologii pro zpětné získávání tepla a vlhkosti [22].

Jak zobrazuje obr. 2, venkovní čerstvý vzduch je nasáván z exteriéru ventilátorem přes filtr a výměník do interiéru. S ohledem na tepelné podmínky v interiéru, exteriéru a požadované tepelné podmínky v interiéru může být vzduch veden obtokem okolo výměníku, aby nedocházelo k předávání tepla mezi čerstvým větracím a odpadním vzduchem. V opačném směru je odpadní vzduch z interiéru nasáván ventilátorem a přes filtr a výměník vyfukován do exteriéru.

Filtry slouží k čištění vzduchu, aby nedocházelo k zanášení nebo až poškození výměníku a ventilátorů a aby byl do interiéru přiváděn čistý vzduch.

Distribuční potrubí [23]

Distribuční potrubí jsou vzduchovody, kterými je dopravován vzduch do požadovaných míst.

Součástí vzduchovodů mohou být kolena, redukce, odbočky, T kusy, prvky pro regulaci průtoku, požární klapky apod.

Vzduchovody mohou být z různých materiálů [23]:

- betonové, zděné,
- ocelové,
- hliníkové,
- plastové,
- textilní...



Obr. 3 – Flexibilní plastové potrubí [24]

a mají nejčastěji průřez:

- čtvercový,
- obdélníkový,
- kruhový.

Výustky

Výustky jsou koncové prvky vzduchotechniky, sloužící k distribuci čerstvého vzduchu do větraného prostoru nebo k odvodu odpadního vzduchu z větraného prostoru.

Základní dělení výustek je na:

- přívodní,
- odvodní.

Dále se mohou dělit dle konstrukce na [1] [23]:

- obdélníkové výustky,
- anemostaty a vířivé anemostaty,
- štěrby,
- trysky a dýzy,
- velkoplošné výustky,
- děrované vzduchovody,
- děrované panely a stropy,
- textilní výustky,
- talířové ventily,
- speciální výustky.



Obr. 4 – Designový kruhový skleněný ventil [24]



Obr. 5 – Talířový ventil [24]

Každý druh koncového prvku má své výhody a nedostatky a je třeba jej volit s ohledem na konkrétní aplikaci.

2.1.9 Tlakové ztráty

Při proudění vzduchu ve vzduchotechnickém potrubí a přes zařízení dochází k tlakovým ztrátám, které má za úkol kompenzovat ventilátor [25]. Pro správný návrh vzduchotechniky je potřeba znát nejvyšší možnou tlakovou ztrátu větve a současně musí být ve všech větvích zajištěna stejná tlaková ztráta při navržených průtocích, aby byl zajištěn požadovaný přívod (odvod) vzduchu [26]. Toho se dosáhne umělým zvýšením tlakové ztráty ve větvích, které ji mají nižší než maximální. Výrobci vzduchotechnických komponent poskytují materiály, dle kterých lze určit jejich tlakovou ztrátu.

Tlakové ztráty se dělí na místní a délkové [25].

Místní tlakové ztráty

Jsou způsobeny např. koleny, armaturami, změnami průměru, rozvětvením potrubí atd. a závisí na součiniteli místních ztrát, rychlosti proudění a hustotě tekutiny [25].

Lze je nahradit ekvivalentní délkou přímého potrubí nebo, jak bylo odvozeno z učebních textů Debreczeniho [25], vypočítat jako:

$$\Delta p_m = \frac{\xi \cdot v^2 \cdot \rho}{2} \quad (2)$$

Kde:

Δp_m	[Pa]	místní tlaková ztráta
ξ	[-]	součinitel místní tlakové ztráty
v	[m·s ⁻¹]	střední rychlost proudění tekutiny v potrubí
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota proudící tekutiny

Délkové tlakové ztráty

Délkové tlakové ztráty jsou způsobeny třením mezi tekutinou a potrubím a závisí na součiniteli délkových ztrát, průměru potrubí, délce potrubí, rychlosti proudění a hustotě tekutiny [25].

Jak bylo odvozeno z učebních textů Debreczeniho [25], lze je vypočítat jako:

$$\Delta p_L = \frac{\lambda_L \cdot L_p \cdot v^2 \cdot \rho}{2 \cdot d} = \Delta p_{1m} \cdot L_p \quad (3)$$

Kde:

Δp_L	[Pa]	délková tlaková ztráta
λ_L	[-]	součinitel délkové tlakové ztráty
L_p	[m]	délka potrubí
v	[m·s ⁻¹]	střední rychlost proudění tekutiny v potrubí
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota proudící tekutiny
d	[m]	vnitřní průměr potrubí
Δp_{1m}	[Pa·m ⁻¹]	délková tlaková ztráta na 1 m délky potrubí

Celková tlaková ztráta je dána součtem místní a délkové tlakové ztráty, tedy:

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_m \quad (4)$$

Kde:

Δp	[Pa]	celková tlaková ztráta
Δp_L	[Pa]	délková tlaková ztráta
Δp_m	[Pa]	místní tlaková ztráta

Z výše uvedeného vyplývá, že délková tlaková ztráta se vždy určuje na spojitém úseku potrubí, kde se nemění průměr ani rychlost proudění. Poté se ztráty ze všech těchto úseků sečtou a přičtou se všechny místní ztráty [25].

Pro potřeby vzduchotechniky, kdy proudícím médiem v potrubí je vzduch, jsou pro urychlení výpočtu tlakové ztráty na metr délky potrubí tabelovány v závislosti na typu potrubí a průtoku, případně zaneseny do grafu [27]. Stačí tedy délkové tlakové ztráty na metr potrubí vynásobit délkou potrubí a následně všechny tlakové ztráty sečíst.

Rychlost proudění vzduchu v potrubí se určí jako [26]:

$$v = \frac{\dot{V}}{S_p} \quad (5)$$

Kde:

v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	střední rychlost proudění tekutiny v potrubí
\dot{V}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový průtok
S_p	$[\text{m}^2]$	průtočný průřez potrubí

Průtočný průřez se dle Dufka [28] určí z vnitřního průměru potrubí jako:

$$S_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6)$$

Kde:

S_p	$[\text{m}^2]$	průtočný průřez potrubí
π	$[-]$	Ludolfovo číslo
d	$[\text{m}]$	vnitřní průměr potrubí

2.2 Chlazení

Chlazením se upravuje teplota vzduchu v interiéru na přípustnou hodnotu, respektive se kompenzují tepelné zisky.

Dle ČSN 73 0540-2 [4] se doporučuje chlazení u obytných budov navrhovat pouze v případě, kdy prokazatelně nelze stavebním řešením docílit nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období 27 °C (v případě souhlasu investora, stavebníka, uživatele maximálně 29 °C po souvislou dobu nejvýše 2 hodin během normového dne). Dle této normy by také mělo architektonické a stavební řešení minimalizovat spotřebu chladu. Pokud je však, jako v tomto případě, budova již postavena a žádné velké stavební zásahy se nepředpokládají, nelze s tímto požadavkem dále pracovat. Proto se alespoň doporučuje využití vysokoteplotních soustav.

Možností, jak snížit teplotu vnitřního prostředí, existuje celá řada. Pokud je ve vnějším prostředí nižší teplota než ve vnitřním, je nejjednodušším, avšak ne vždy možným nebo dostatečným, řešením větrání – výměna vnitřního vzduchu za vnější (kapitola 2.1). V situaci, kdy větrání přestává stačit, nastupuje na řadu známé a často používané zařízení pro chlazení – kompresorové chladicí zařízení s vnitřní jednotkou typu fan coil nebo některý z dalších systémů – sálavé chladicí systémy s různými zdroji chladu, adiabatické chlazení a jiné, nepřiliš rozšířené systémy.

2.2.1 Sálavé chladicí systémy

Teplo je odváděno z vnitřních prostor chladicí vodou, která proudí velkoplošnou plochou, nejčastěji instalovanou na stropě. Jedním z důvodů instalace na stropě je chování chladného vzduchu, který má tendenci z důvodu vyšší hustoty oproti teplém vzduchu padat dolů [13].

Výhody sálavých chladicích systémů [6]:

- tepelný komfort,
- nízká hluchnost,
- nezpůsobují průvan,

- nízká energetická náročnost ve srovnání s jinými druhy chlazení (je možné udržovat vyšší teplotu vzduchu ve srovnání s jinými chladicími systémy při zachování stejného tepelného komfortu),
- pokud jsou instalovány společně se vzduchotechnikou, snižují nároky na její výkon (nemusí zajišťovat kromě větrání také chlazení),
- výměnou chladné vody za teplou je lze využít pro vytápění.

Nevýhody sálavých chladicích systémů [6]:

- vyšší počáteční náklady,
- riziko kondenzace vzdušné vlhkosti na chladicích panelech,
- chladicí výkon je dán maximální možnou plochou pro instalaci (teplotu chladicí vody nelze snižovat z důvodu rosného bodu vzduchu a zvyšující se energetické náročnosti),
- nemohou odvádět teplo z vodní páry.

Přestup tepla mezi vzduchem v místnosti a sálavým chladicím systémem probíhá konvekcí a sáláním.

Konvekce [29]

Konvektivní přenos tepla se skládá z náhodného pohybu molekul (difúze) a objemového makroskopického pohybu tekutiny.

Konvekce může probíhat přirozeně, nuceně, nebo kombinací obojího.

U chladicího stropu se dá uvažovat vodorovná (horizontální) deska, která má ze spodní strany nižší teplotu než okolí a z horní strany je dokonale izolovaná. Množství tepla přeneseného konvekcí se vypočítá jako:

$$\dot{q}_k = \alpha_k \cdot (T_w - T_\infty) \quad (7)$$

Kde:

\dot{q}_k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	měrný tepelný tok konvekcí
α_k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla konvekcí
T_w	$[\text{K}]$	povrchová teplota desky
T_∞	$[\text{K}]$	teplota vzduchu mimo termickou mezní vrstvu

Problém však nastává s určením součinitele přestupu tepla, jelikož lze obtížně zjistit, zda se jedná o přirozenou nebo nucenou konvekci, protože v místnostech bude instalována také vzduchotechnika a dále je třeba počítat s nerovnoměrným rozložením teplot po povrchu (jiná teplota bude u okna, do kterého svítí Slunce a jiná směrem ke středu bytu).

Velikost Nusseltova čísla, ze kterého se určuje součinitel přestupu tepla, je rovna pro přirozenou konvekci:

$$Nu_L = 0,54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}}, \text{ pro } 10^4 < Ra_L < 10^7 \quad (8)$$

$$Nu_L = 0,15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}}, \text{ pro } 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11} \quad (9)$$

Kde:

Nu_L	$[-]$	střední Nusseltovo číslo
Ra_L	$[-]$	Rayleighovo číslo

Zda se u přirozené konvekce jedná o laminární nebo turbulentní proudění, lze zjistit podle Rayleighova kritéria, které je pro horizontální stěnu:

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_w - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \cdot a_v} \quad (10)$$

Kde:

Ra_L	[-]	Rayleighovo číslo
Gr_L	[-]	střední Grashofovo číslo
Pr	[-]	střední Prandtlovo číslo
g	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
β	$[K^{-1}]$	součinitel teplotní roztažnosti
T_w	[K]	povrchová teplota desky
T_∞	[K]	teplota vzduchu mimo termickou mezní vrstvu
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita
a_v	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	součinitel teplotní vodivosti
L	[m]	charakteristický rozměr horizontální rovinné desky a určí se jako:

$$L = \frac{S}{P} \quad (11)$$

Kde:

L	[m]	charakteristický rozměr horizontální rovinné desky
S	$[m^2]$	plocha desky
P	[m]	obvod desky

a pro nucenou konvekci:

$$Nu_L = \frac{\bar{\alpha}_L \cdot L}{\lambda} = C \cdot Re_L^q \cdot Pr^r \quad (12)$$

Kde:

Nu_L	[-]	střední Nusseltovo číslo
$\bar{\alpha}_L$	$[W \cdot m^2 \cdot K^{-1}]$	střední součinitel přestupu tepla
L	[m]	charakteristický rozměr horizontální rovinné desky
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost
C	[-]	experimentálně zjištěná konstanta
q, r	[-]	experimentálně zjištění exponenti
Re_L	[-]	střední Reynoldsovo číslo
Pr	[-]	střední Prandtlovo číslo

Jestli se u nucené konvekce jedná o laminární nebo turbulentní proudění, lze zjistit podle Reynoldsova čísla, které je pro horizontální stěnu:

$$Re_L = \frac{u_\infty \cdot L}{\nu} \quad (13)$$

Kde:

Re_L	[-]	střední Reynoldsovo číslo
u_∞	$[m \cdot s^{-1}]$	střední hodnota rychlosti proudění
L	[m]	charakteristický rozměr horizontální rovinné desky
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita

Jestli je jeden druh konvekce dominující a druhý je možné zanedbat nebo je třeba počítat s oběma, se dá určit dle poměru Grashofova čísla s kvadrátem Reynoldsova čísla:

pokud je $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$, nucená konvekce dominuje,

pokud je $\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$, přirozená konvekce dominuje,

pokud je $\frac{Gr}{Re^2} \approx 1$, jsou oba mechanismy stejně silné a musí se oba uvažovat.

Pokud se uvažuje s přirozenou i nucenou konvekcí, je třeba ještě výpočet přizpůsobit úhlu, v jakém na sebe působí.

Sálání (záření, radiace) [29]

Každý povrch mající teplotu vyšší než 0 K vyzařuje energii – tzv. tepelné záření. To se jako jediný druh přenosu tepla může šířit i vakuem.

Maximální tepelný tok z povrchu je definován Stefan-Boltzmannovým zákonem jako:

$$\dot{q} = \sigma \cdot T_w^4 \quad (14)$$

Kde:

\dot{q}	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok
σ	[W·m ⁻² K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta
T_w	[K]	povrchová teplota zářícího tělesa

Vztah (14) je však idealizovaný, tzv. záření absolutně černého tělesa. Skutečný přenos tepla zářením mezi tělesy závisí na jejich emisivitě (poměrné zářivosti), reflektanci (dopadající energie se odráží), absorbtanci (energie je absorbována povrchem), transmitanci (energie projde skrz těleso) a úhlovém součiniteli (jejich vzájemné poloze). Vždy musí platit, že tepelný tok přenášený daným povrchem je dán rozdílem energie emitované a absorbované. Ten se dle Jichy [29] vypočítá jako:

$$\dot{Q}_i = \varepsilon_i \cdot \sigma \cdot T_i^4 \cdot S_i - \varepsilon_i \cdot G_i \cdot S_i \quad (15)$$

Kde:

\dot{Q}_i	[W]	tepelný tok přenášený na povrchu tělesa i
ε_i	[-]	poměrná zářivost tělesa i
σ	[W·m ⁻² K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta
T_i	[K]	teplota tělesa i
S_i	[m ²]	plocha povrchu tělesa i
G_i	[W·m ⁻²]	iradiace (ozáření povrchu) tělesa i

Vztahy (7) až (15) zde byly uvedeny především pro pochopení mechanismu přenosu tepla z chladicího stropu do místnosti, jelikož je z nich zřejmé, že manuální výpočet tímto způsobem by byl velmi komplikovaný a jeho výsledek je sporný. Proto se pro ulehčení práce a zpřesnění získaných výsledků využívá počítačových výpočtů a simulací (k tomu složí například programy MRT Analysis, ESP-r, Star CCM+ v10.04 atd.)

V projekční praxi je však jednodušší, uchýlit se k výpočtu výkonu sálavého chladicího systému a průtoku media (nejčastěji vody) v něm dle projekčních podkladů výrobce zařízení [30] a kalorimetrické rovnice [19]:

$$Q_{12} = M \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = \rho \cdot V \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (16)$$

Kde:

Q_{12}	[J]	předávané teplo
M	[kg]	hmotnost
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
T_1	[K]	teplota soustavy na počátku předávání tepla
T_2	[K]	teplota soustavy na konci předávání tepla
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota
V	[m ³]	objem

upravené pro zjištění průtoku z výkonu:

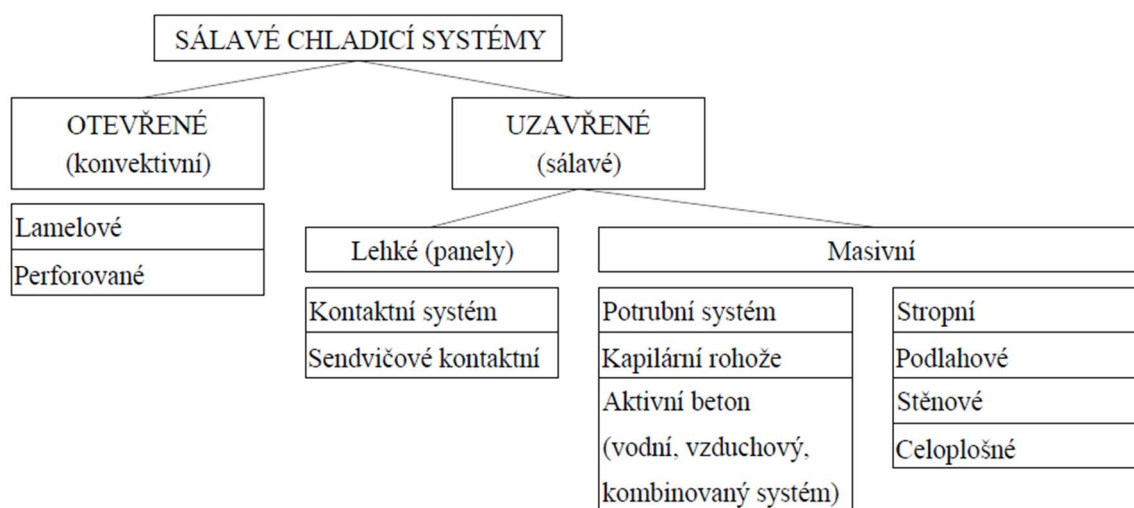
$$\dot{M} = \frac{\dot{Q}_{12}}{c \cdot (T_2 - T_1)} \quad (17)$$

Kde:

\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok media
\dot{Q}_{12}	[W]	předávaný výkon
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita media
T_1	[K]	teplota soustavy na počátku předávání tepla
T_2	[K]	teplota soustavy na konci předávání tepla

Rychlost proudění chladicího media se přizpůsobuje, aby byl rozdíl teplot na vstupu a výstupu konstantní.

Rozdělení sálavých chladicích systémů



Obr. 6 – Schéma rozdělení sálavých chladicích systémů [13]

Velmi častým řešením jsou chladicí panely umístěné v podhledu a z horní strany izolované.

2.2.2 Zdroje chladu

V případě chlazení nemovitosti se dle ČSN 73 0540-2 [4] doporučuje využití vhodného chlazení s nízkou spotřebou energie. Chlad se může získávat z mnoha zdrojů. Například se dle ČSN 73 0540-2 [4] jedná o:

- větrání v průběhu noci s využitím akumulční hmoty budovy,
- chlad ze zemského polomasivu,
- adiabatické chlazení,
- chlazení sáláním vůči obloze.

V mnoha případech, zvláště u moderních nebo zrekonstruovaných budov, však nejsou tyto zdroje chladu dostatečně výkonné a je nezbytné přistoupit ke zdrojům chladu s vyšší spotřebou energie. Mezi takovéto zdroje chladu nejčastěji patří *kompresorové chladicí zařízení* [31].

Dalšími zdroji chladu jsou například [19]:

- absorpční chladicí zařízení,
- Peltierovy články,
- adiabatická demagnetizace.

Zdrojem chladu v řešeném bytu bude kompresorové chladicí zařízení. Proto je jeho funkce podrobněji popsána níže.

Kompresorové chladicí zařízení [19]

Kompresorové zařízení sloužící k přečerpání tepelné energie z jednoho prostředí do druhého, a tím změně teplot obou prostředí, za užití elektrické energie, se nazývá tepelné čerpadlo.

Z principu funkce je patrné, že tepelné čerpadlo musí mít vnitřní a vnější jednotku.

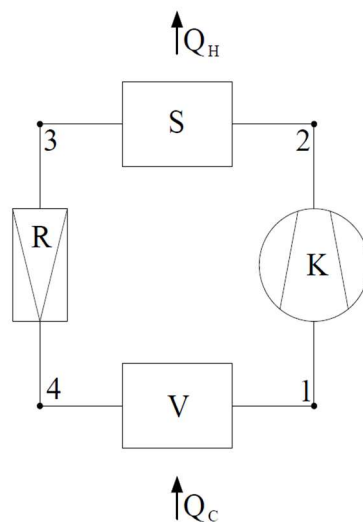
Jak lze vidět na obr. 7, tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř základních částí, kde K = kompresor, S = kondenzátor (srážník), R = redukční ventil, V = výparník a proudění chladiva je ve směru bodů 1-2-3-4.

Při ustáleném chodu kompresorového chladicího zařízení je teplota povrchu kondenzátoru vyšší než teplota okolí, čímž dochází k ohřívání okolí, respektive k odevzdávání tepla Q_H z chladiva. Tím se chladivo ochlazuje a dochází k jeho kondenzaci. Naopak teplota povrchu výparníku je nižší než teplota okolí, čímž dochází k chlazení okolí, respektive k přijímání tepla Q_C chladivem. Tím se chladivo ohřívá a dochází k jeho vypařování.

Aby toto bylo uskutečnitelné, musí být zvoleno, jako nosič tepelné energie, chladivo o vhodných fyzikálních vlastnostech a je potřeba zajistit odlišný tlak chladiva ve výparníku a v kondenzátoru pro zajištění požadované teploty chladiva v každém z výměníků tepla (stlačením se chladivo ohřívá, škrcením ochlazuje) a současně dojde k požadované změně teploty varu, respektive kondenzace.

Druh chladiva se volí vždy s ohledem na provozní podmínky konkrétního zařízení.

Ke zvyšování tlaku chladiva slouží kompresor, který spotřebovává mechanickou energii (u použití pro budovy zpravidla dodanou elektromotorem) a ke snížení tlaku (škr-



Obr. 7 – Schéma kompresorového chladicího zařízení [19]

K = kompresor, S = srážník,
R = redukční ventil, V = výparník

cení) chladiva slouží redukční ventil.

Některé kompresorové chladicí zařízení umožňují obrácený chod, díky kterému mohou v zimě topit a v létě chladit. Mezi nevýhody kompresorových chladicích zařízení patří hlučnost (elektromotor, kompresor, proudění chladiva...), která je však v současné době výrobcí úspěšně potlačována. Tato zařízení lze s výhodou nízkých provozních nákladů využívat také při zpětném získávání tepla (chlada), tzv. aktivní rekuperaci vzduchu [32].

Efektivitu kompresorového chladicího zařízení vyjadřuje bezrozměrné číslo větší než 1 – chladicí faktor (COP_{ref}) – někdy nesprávně nazývaný účinností a určí se jako [33]:

$$COP_{ref} = \frac{\text{chladicí výkon [W]}}{\text{dodaná práce [W]}} \quad (18)$$

2.2.3 Split a multisplit systémy

Jedná se o chladivový systém skládající se z jedné venkovní a jedné (split) nebo několika (multisplit) vnitřních jednotek [6]. Systém funguje na principu kompresorového chladicího zařízení, jehož funkce byla popsána v kapitole 2.2.2.

Venkovní jednotka se dle Drkala [6] skládá z:

- kompresorového chladicího zařízení,
- srážníku (kondenzátoru),
- ventilátoru venkovního vzduchu

a teplo je předáváno mezi chladivem ve srážníku a venkovním vzduchem.

Vnitřní jednotka se dle Drkala [6] skládá z:

- vzduchového filtru,
- ventilátoru vnitřního vzduchu,
- výparníku,
- příváděcí výustky

a teplo je předáváno mezi vnitřním vzduchem a chladivem ve výparníku.

Obě jednotky jsou propojeny propojovacím potrubím, ve kterém proudí chladivo. Tyto systémy většinou umožňují otočení chodu (z kondenzátoru se stane výparník a naopak) a tím mohou vytápět [6].

Regulace je řízena termostatem v chlazené místnosti a provádí se například změnou průtoku chladiva nebo jeho uzavíráním a otevíráním, vypínáním a zapínáním kompresoru nebo regulací jeho otáček [6].

Ukázka venkovní jednotky se nachází na obr. 8 a vnitřní nástěnné jednotky na obr. 9.



Obr. 8 – Venkovní jednotka kompresorového chladicího zařízení Sinclair MV-E28BI [34]



Obr. 9 – Vnitřní jednotka kompresorového chladicího zařízení Sinclair MV-H07BIF [35]

2.2.4 Tepelné zisky

Pro zjištění tepelných zisků prostupem je potřeba nejprve znát součinitel prostupu tepla. U výplní stavebních otvorů tuto hodnotu udává výrobce, v případě vícevrstevných stavebních konstrukcí (stěn, podlah, střech) je však nutné součinitel prostupu tepla vypočítat s ohledem na použité materiály, jejich tloušťku a klimatické podmínky.

Jak bylo odvozeno ze skript Paveleka [19], Jichy [29] a normy ČSN EN 12831 [36], součinitel prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí se vypočítá jako:

$$U = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (19)$$

Kde:

U	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
λ_i	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy konstrukce
δ_i	$[\text{m}]$	tloušťka i-té vrstvy konstrukce
α_1	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na straně 1 konstrukce
α_2	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na straně 2 konstrukce

Pro správné určení potřebného chladicího výkonu je zapotřebí zjistit tepelnou zátěž bytu. To se provede výpočtem dle ČSN 73 0548 [37] následovně:

Produkce tepla od lidí:

$$\dot{Q}_1 = i_1 \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i) \quad (20)$$

Kde:

\dot{Q}_1	$[\text{W}]$	produkce tepla od lidí
i_1	$[-]$	ekvivalentní počet lidí
t_i	$[\text{°C}]$	vnitřní teplota

Ekvivalentní počet lidí:

$$i_1 = 0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m \quad (21)$$

Kde:

i_1	$[-]$	ekvivalentní počet lidí
i_z	$[-]$	počet žen
i_d	$[-]$	počet dětí
i_m	$[-]$	počet mužů

Tepelná zátěž od svítidel:

$$\dot{Q}_{SV} = \dot{P} \cdot c_1 \cdot c_2 \quad (22)$$

Kde:

\dot{Q}_{SV}	$[\text{W}]$	tepelná zátěž od svítidel
\dot{P}	$[\text{W}]$	celkový příkon svítidel včetně ztráty v předřadníku
c_1	$[-]$	součinitel současnosti používání svítidel
c_2	$[-]$	zbytkový součinitel

Tepelný zisk od elektronických zařízení:

$$\dot{Q}_e = c_1 \cdot \sum c_3 \cdot \dot{P} \quad (23)$$

Kde:

\dot{Q}_e	[W]	tepelný zisk od elektronických zařízení
c_1	[-]	součinitel současnosti chodu
c_3	[-]	průměrné zatížení
\dot{P}	[W]	příkon

Ohřátí vzduchu ve vzduchovodech:

$$\Delta t = \frac{U \cdot A \cdot \Delta t_m}{1200 \cdot w \cdot S} \quad (24)$$

Kde:

Δt	[K]	ohřátí vzduchu ve vzduchovodech
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla
A	[m ²]	povrch vzduchovodu, kterým prochází teplo
Δt_m	[K]	střední rozdíl teplot mezi vzduchem v potrubí a okolním vzduchem
w	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění vzduchu ve vzduchovodu
S	[m ²]	průřez vzduchovodu

Tepelný zisk od vzduchovodu:

$$\dot{Q}_z = \dot{M} \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \quad (25)$$

Kde:

\dot{Q}_z	[W]	tepelný zisk od vzduchovodu
\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok vzduchu
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t_1	[°C]	teplota vzduchu na vstupu
t_2	[°C]	teplota vzduchu na výstupu

Tepelný zisk od větracího vzduchu:

$$\dot{Q}_v = \dot{M} \cdot c \cdot (t' - t'') \quad (26)$$

Kde:

\dot{Q}_v	[W]	tepelný zisk od větracího vzduchu
\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok vzduchu
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t'	[°C]	teplota vzduchu na vstupu do místnosti
t''	[°C]	teplota vzduchu na výstupu z místnosti

Tepelný zisk od jiných zdrojů tepla:

$$\dot{Q} = \alpha_{k,s} \cdot S \cdot \Delta t_m \quad (27)$$

Kde:

\dot{Q}	[W]	tepelný zisk od jiných zdrojů tepla
$\alpha_{k,s}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním
S	[m ²]	teplosměnná plocha
Δt_m	[K]	střední rozdíl teplot mezi povrchem a vzduchem v místnosti

Tepelný zisk ze sousedních místností:

$$\dot{Q}_m = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) \quad (28)$$

Kde:

\dot{Q}_m	[W]	tepelný zisk ze sousedních místností
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S	[m ²]	plocha stěny
t_{is}	[°C]	teplota sousední místnosti
t_i	[°C]	teplota klimatizované místnosti

Tepelný zisk konvekcí okny:

$$\dot{Q}_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) \quad (29)$$

Kde:

\dot{Q}_{ok}	[W]	tepelný zisk konvekcí okny
U_o	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla oknem
S_o	[m ²]	plocha okna včetně rámu
t_e	[°C]	vnější teplota
t_i	[°C]	vnitřní teplota

Tepelný zisk sluneční radiací okny:

$$\dot{Q}_{or} = [S_{os} \cdot I_{Ok} \cdot c_0 + (S_o - S_{os}) \cdot I_{Okd}] \cdot s \quad (30)$$

Kde:

\dot{Q}_{or}	[W]	tepelný zisk sluneční radiací okny
S_{os}	[m ²]	osluněná plocha oken
I_{Ok}	[W·m ⁻²]	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
c_0	[-]	korekce na čistotu atmosféry
S_o	[m ²]	celková plocha oken
I_{Okd}	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem
s	[-]	stínící součinitel

Osluněná plocha oken:

$$S_{os} = n_{oken} \cdot [l_A - (e_1 - f_s)] \cdot [l_B - (e_2 - g_s)] \quad (31)$$

Kde:

S_{os}	[m ²]	osluněná plocha oken
n_{oken}	[-]	počet oken
l_A	[m]	šířka okna
l_B	[m]	výška okna
e_1	[m]	délka stínu vrženého svislým slunolamem
e_2	[m]	délka stínu vrženého vodorovným slunolamem
f_s	[m]	vzdálenost svislého slunolamu od zasklení
g_s	[m]	vzdálenost vodorovného slunolamu od zasklení

Délka stínu vrženého svislým slunolamem:

$$e_1 = d_s \cdot |tg(a - \gamma)| \quad (32)$$

Kde:

e_1	[m]	délka stínu vrženého svislým slunolamem
d_s	[m]	hloubka svislého slunolamu
a	[°]	sluneční azimut
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny

Délka stínu vrženého vodorovným slunolamem:

$$e_2 = \frac{c_s \cdot |tg(h)|}{\cos(a - \gamma)} \quad (33)$$

Kde:

e_2	[m]	délka stínu vrženého vodorovným slunolamem
c_s	[m]	hloubka vodorovného slunolamu
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
a	[°]	sluneční azimut
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem:

$$I_{Ok} = T_D \cdot I_D + I_{Ok d} \quad (34)$$

Kde:

I_{Ok}	[W·m ⁻²]	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
T_D	[-]	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna
I_D	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
$I_{Ok d}$	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna:

$$T_D = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 \quad (35)$$

Kde:

T_D	[-]	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna
θ	[°]	úhel mezi normálou k oknu a slunečními paprsky

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků:

$$\theta = \arccos(\sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - \gamma)) \quad (36)$$

Kde:

θ	[°]	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
α	[°]	úhel stěny s vodorovnou rovinou
a	[°]	sluneční azimut
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny

Intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu:

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos(\theta) \quad (37)$$

Kde:

I_D	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_{Dk}	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
θ	[°]	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků

Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům:

$$I_{Dk} = 1350 \cdot e^{\left[-0,1 \cdot z \cdot \left(\frac{16000-H}{(16000+H) \cdot \sin(h)}\right)^{0,8}\right]} \quad (38)$$

Kde:

I_{Dk}	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
z	[-]	součinitel znečištění atmosféry
H	[m]	nadmořská výška
h	[°]	výška Slunce nad obzorem

Intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem:

$$I_{Okd} = T_{D0} \cdot I_d \quad (39)$$

Kde:

I_{Okd}	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem
T_{D0}	[-]	propustnost difuzní radiace standardního okna
I_d	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní sluneční radiace

Intenzita difuzní sluneční radiace:

$$I_d = \left[1350 - I_{Dk} - (1080 - 1,4 \cdot I_{Dk}) \cdot \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] \cdot \frac{\sin(h)}{3} \quad (40)$$

Kde:

I_d	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita difuzní sluneční radiace
I_{Dk}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
α	$[\circ]$	úhel stěny s vodorovnou rovinou
h	$[\circ]$	výška Slunce nad obzorem

Tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci:

$$\dot{Q}_{or\ a} = \dot{Q}_{or} - \Delta\dot{Q} \quad (41)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or\ a}$	$[\text{W}]$	tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci
\dot{Q}_{or}	$[\text{W}]$	tepelný zisk sluneční radiací okny
$\Delta\dot{Q}$	$[\text{W}]$	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken

Snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken vlivem akumulace:

$$\Delta\dot{Q} = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t_{max} \quad (42)$$

Kde:

$\Delta\dot{Q}$	$[\text{W}]$	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken
M	$[\text{kg}]$	hmotnost akumulačních ploch
Δt_{max}	$[\text{K}]$	maximální přípouštěné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru

Hmotnost akumulačních ploch:

$$M = \frac{\rho_s \cdot S \cdot t_{aku}}{t_{sk}} \quad (43)$$

Kde:

M	$[\text{kg}]$	hmotnost akumulačních ploch
ρ_s	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$	plošná hustota
S	$[\text{m}^2]$	plocha konstrukce
t_{aku}	$[\text{m}]$	akumulační tloušťka konstrukce
t_{sk}	$[\text{m}]$	skutečná tloušťka konstrukce

Průměrný zisk sluneční radiací okny:

$$\dot{Q}_{or\ m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{or\ i} \quad (44)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or\ m}$ [W]	průměrný zisk sluneční radiací okny
n [-]	počet hodin
$\dot{Q}_{or\ i}$ [W]	zisk sluneční radiací okny v i-té hodině

Skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny:

$$\dot{Q}_{or\ sk} = \max(\dot{Q}_{or\ a}; \dot{Q}_{or\ m}) \quad (45)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or\ sk}$ [W]	skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny
$\dot{Q}_{or\ a}$ [W]	tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci
$\dot{Q}_{or\ m}$ [W]	průměrný zisk sluneční radiací okny

Tepelný zisk středně těžkou stěnou:

$$\dot{Q}_{s1} = U \cdot S \cdot [(t_{rm1} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm1})] \quad (46)$$

Kde:

\dot{Q}_{s1} [W]	tepelný zisk středně těžkou stěnou
U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S [m ²]	plocha stěny
t_{rm1} [°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
t_i [°C]	teplota interiéru
$t_{r\psi}$ [°C]	rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější
m [-]	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou

Součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou:

$$m = \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500\delta} \quad (47)$$

Kde:

m [-]	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou
δ [m]	tloušťka stěny

Fázové posunutí teplotních kmitů:

$$\psi = 32 \cdot \delta - 0,5 \quad (48)$$

Kde:

ψ [h]	fázové posunutí teplotních kmitů
δ [m]	tloušťka stěny

Tepelný zisk těžkou stěnou:

$$\dot{Q}_{s2} = U \cdot S \cdot (t_{rm2} - t_i) \quad (49)$$

Kde:

\dot{Q}_{s2}	[W]	tepelný zisk těžkou stěnou
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S	[m ²]	plocha stěny
t_{rm2}	[°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
t_i	[°C]	teplota interiéru

Tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu:

$$\dot{Q}_L = \dot{V}_L \cdot \rho_L \cdot c_L \cdot (t_e - t_i) \quad (50)$$

Kde:

\dot{Q}_L	[W]	tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu
\dot{V}_L	[m ³ ·s ⁻¹]	přívod čerstvého vzduchu
ρ_L	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
c_L	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t_e	[°C]	teplota nasávaného vzduchu
t_i	[°C]	teplota interiéru

Celkové tepelné zisky:

$$\Sigma \dot{Q} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_{SV} + \dot{Q}_e + \dot{Q}_z + \dot{Q}_v + \dot{Q} + \dot{Q}_m + \dot{Q}_{ok} + \dot{Q}_{or\ sk} + \dot{Q}_{s1} + \dot{Q}_{s2} \quad (51)$$

Kde:

$\Sigma \dot{Q}$	[W]	celkové tepelné zisky
\dot{Q}_1	[W]	produkce tepla od lidí
\dot{Q}_{SV}	[W]	tepelná zátěž od svítidel
\dot{Q}_e	[W]	tepelný zisk od elektronických zařízení
\dot{Q}_z	[W]	tepelný zisk od vzduchovodu
\dot{Q}_v	[W]	tepelný zisk od větracího vzduchu
\dot{Q}	[W]	tepelný zisk od jiných zdrojů tepla
\dot{Q}_m	[W]	tepelný zisk ze sousedních místností
\dot{Q}_{ok}	[W]	tepelný zisk konvekcí okny
$\dot{Q}_{or\ sk}$	[W]	skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny
\dot{Q}_{s1}	[W]	tepelný zisk středně těžkou stěnou
\dot{Q}_{s2}	[W]	tepelný zisk těžkou stěnou

Tepelná zátěž klimatizovaného prostoru:

$$\dot{Q}_{ic} = \Sigma \dot{Q} + \dot{Q}_L \quad (52)$$

Kde:

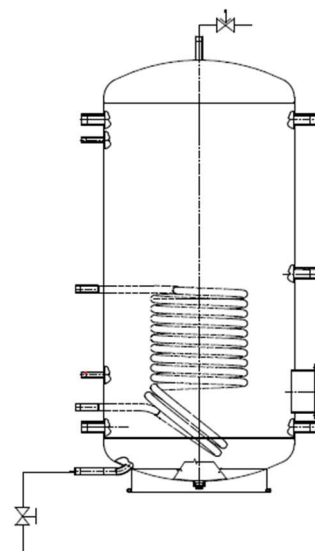
\dot{Q}_{ic}	[W]	tepelná zátěž klimatizovaného prostoru
$\Sigma \dot{Q}$	[W]	celkové tepelné zisky
\dot{Q}_L	[W]	tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu

2.2.5 Skladování tepelné energie (chladu)

Jednou z možností, jak skladovat tepelnou energii, je její uložení do látky s vysokou měrnou tepelnou kapacitou nebo latentním teplem v případě změny skupenství látky [33]. Měrná tepelná kapacita c [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] udává, kolik tepelné energie je schopno se absorbovat do jednotky hmotnosti látky při změně teploty o jeden Kelvin [33]. Latentní teplo l [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] je teplo, které je potřeba jednotce hmotnosti látky dodat nebo odebrat, aby změnila své skupenství [33].

V technice prostředí se často využívá ukládání tepelné energie do vody v akumulční nádrži, jejíž příklad je vyobrazen na obr. 10. Teplo se předává přes tepelný výměník – tzv. had. Akumulační nádrže se izolují z důvodu snížení tepelných ztrát, případně pro eliminaci rizika kondenzace na povrchu.

Množství tepla, které je takto uloženo se vypočítá z rovnice (16).



Obr. 10 – Akumulační nádrž, upraveno z [38]

2.2.6 Klimatizace

Klimatizace bývá často zaměňována s prostým chlazením. Jedná se však o zařízení zajišťující [39]:

- výměnu vzduchu (větrání),
- čistotu vzduchu (filtraci),
- úpravu teploty vzduchu (chlazení, ohřev),
- úpravu vlhkosti vzduchu.

Jak je patrné, v aplikaci pro řešený byt nebude využito klimatizace, ale pouze samostatné větrací jednotky a samostatného chlazení.

2.3 Vytápění

Dle ČSN 73 0540-2 [4] se doporučuje využití zdrojů tepla, které minimalizují spotřebu primární energie.

Jelikož je v ČR velké množství elektrické energie vyráběno z neobnovitelných fosilních zdrojů, překvapivě lépe z tohoto doporučení vycházejí například plynové kondenzační kotle ve srovnání s elektrickým vytápěním.

Dle Energetického regulačního úřadu bylo, například, ve IV. čtvrtletí roku 2018 vyrobeno brutto 58 % z fosilních zdrojů, 34 % z jaderných zdrojů a 8 % z obnovitelných zdrojů energie [40].

Nejpoužívanější zdroje tepla:

- tepelná čerpadla,
- plynové kotle,
- kotle na tuhá paliva,
- elektrické vytápění (kotle, topné rohože),
- kogenerace,
- centrální zásobování teplem (CZT).

Vytápění je jedním z prostředků k docílení požadované pohody prostředí. V řešeném bytu je jako zdroj tepla CZT. Proto tato kapitola nebude podrobněji rozebrána.

3 Popis bytu

Byt je součástí pětipodlažního panelového bytového domu, konstrukčního soustavy B 70, postaveného v roce 1981, nacházejícího se na ulici Popelákova, č. p. 12, Brno-město.

V bytovém domě byla vyměněna okna, v roce 2007 zateplena fasáda a v roce 2012 zateplena střecha. Vlivem zateplení a výměny oken došlo především v zimních měsících ke zhoršení provětrání bytu, kdy koncentrace CO_2 v pobytových místnostech překračuje hranici 3 000 ppm a v letních měsících dochází k přehřívání bytu až na teplotu 30 °C.

Jedná se o podstřešní byt dispozice 4+1 v posledním – 4. NP, s celkovou vnitřní podlahovou plochou 81,66 m², výškou stropů 2,6 m a celkovým objemem 212,31 m³. Stavební výkresy bytu, návrhu větrání a návrhu chlazení jsou přiloženy v přílohách P6–P10 této práce.

Bytový dům má plochou jednoplášťovou střechu, je vytápěn ústředním topením a TV je připravována mimo objekt. Z tohoto důvodu bude řešeno pouze chlazení bytu, a nikoliv vytápění a příprava TV. Základní parametry bytu jsou uvedeny v tab. 4, rozměry místností v tab. 5 a součinitelé prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí v tab. 6.

Tab. 4 – Základní parametry bytu

Parametr	Jednotka	Hodnota
Vnitřní plocha bytu	m ²	81,66
Výška stropu	m	2,6
Objem bytu	m ³	212,31
Dispozice bytu	-	4+1

Tab. 5 – Velikost místností bytu

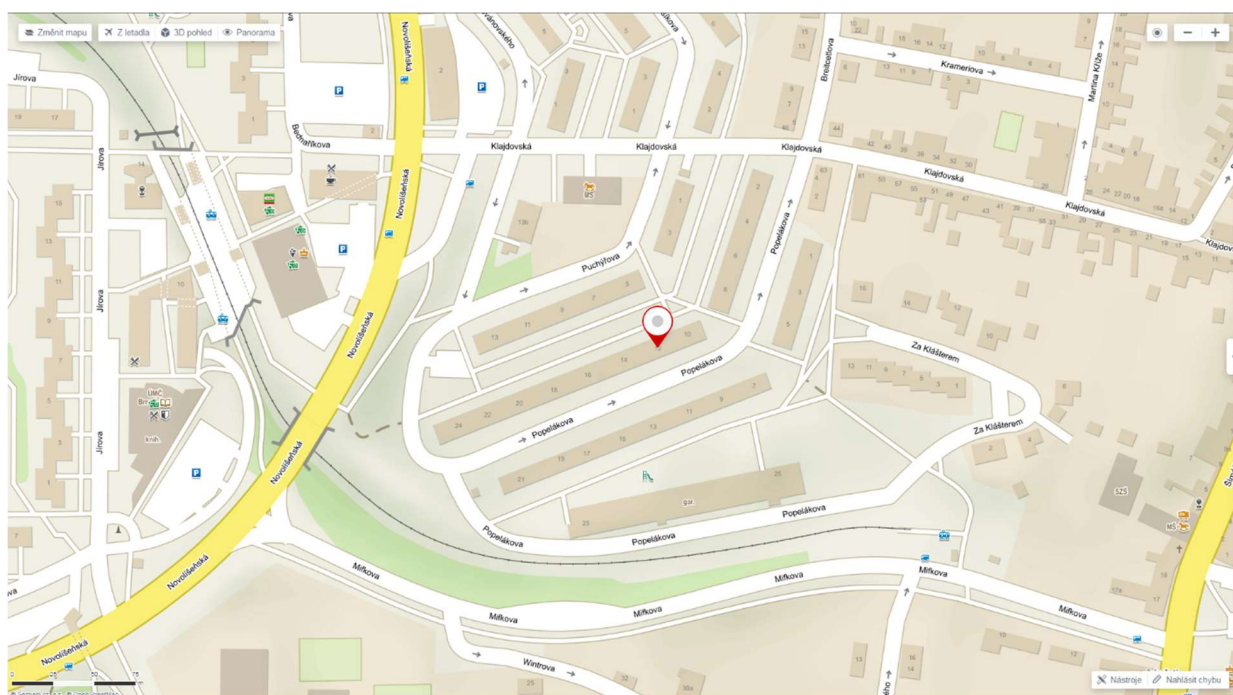
Číslo	Název	Rozměry [m]	Plocha [m ²]	Objem [m ³]
401	Ložnice	3,52 x 3,45 x 2,6	12,14	31,57
402	Pracovna	3,56 x 2,25 x 2,6	8,01	20,83
403	Dětský pokoj	(3,45 x 3,45 + 1,05 x 0,11) x 2,6	12,02	31,25
404	Předsíň	3,45 x 2,21 x 2,6	7,62	19,82
405	Obývací pokoj	(4,65 x 3,415 + 3,45 x 1,28) x 2,6	20,30	52,77
406	Lodžie	4,41 x 1,1 x 2,6	4,85	12,61
407	Kuchyň	(4,64 x 2,25 + 1,82 x 0,88) x 2,6	12,04	31,31
408	Instalační šachta	-	-	-
409	WC	1 x 1,03 x 2,6	1,03	2,68
410	Koupelna	1,87 x 1,56 x 2,6	2,92	7,58
411	Chodba	3,53 x 1,58 x 2,6	5,58	14,50
Celkem			81,66	212,31

Tab. 6 – Součinitelé prostupu tepla [41]

Stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Obvodová konstrukce základní	0,293
Obvodová konstrukce lodžie	0,297
Střecha	0,262
Podlaha	3,079
Vnitřní nenosná stěna	2,911
Vnitřní nosná stěna	2,579
Okna	1,500
Dveře vstupní	2,000



Obr. 11 – Bytový dům, ve kterém se nachází řešený byt



Obr. 12 – Mapa polohy bytu [42]

4 Stanovení požadavků na větrací a chladicí systém

4.1 Potřebná výměna vzduchu

Výměna vzduchu byla volena za dodržení normy ČSN EN 15665 – Z1 [17] pro minimální množství přiváděného i odváděného vzduchu, nedocházelo zbytečně k velkým ztrátám větráním a současně bylo zajištěno stejné množství přiváděného a odváděného vzduchu větrací jednotkou, tedy rovnotlaké větrání.

401 – Ložnice

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství přiváděného vzduchu na osobu $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. Vzhledem k přepokládanému počtu dvou osob a s ohledem na účel této místnosti bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu na $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

402 – Pracovna

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství přiváděného vzduchu na osobu $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. Vzhledem k přepokládanému počtu jedné osoby a s ohledem na účel této místnosti bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu na $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

403 – Dětský pokoj

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství přiváděného vzduchu na osobu $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. Vzhledem k přepokládanému počtu tří osob a s ohledem na účel této místnosti bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu na $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

404 – Předsíň

Větrání této místnosti bude zajištěno její polohou. Přes tuto místnost bude proudit vzduch z místností s přívodem čerstvého vzduchu do místností s odsáváním odpadního vzduchu.

405 – Obývací pokoj

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství přiváděného vzduchu na osobu $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. Vzhledem k přepokládanému počtu pěti osob a s ohledem na účel této místnosti bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu na $125 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

406 – Lodžie

Tato část bytu je otevřena do vnějšího prostředí, proto její větrání postrádá smysl, avšak z oblasti lodžie bude realizováno sání čerstvého vzduchu pro větrání.

407 – Kuchyň

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství odváděného vzduchu na $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. S ohledem na zajištění rovnotlakého větrání v bytě, bylo zvoleno množství odváděného vzduchu z této místnosti na $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

408 – Instalační šachta

Tato část bytu nebude nuceně větrána.

409 – WC

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství odváděného vzduchu na $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. S ohledem na tuto skutečnost a k zajištění rovnotlakého větrání v bytě, bylo zvoleno množství odváděného vzduchu z místnosti na $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

409 – Koupelna

Dle tab. 2 norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství odváděného vzduchu na $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. S ohledem na tuto skutečnost a k zajištění rovnotlakého větrání v bytě, bylo zvoleno množství odváděného vzduchu z místnosti na $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

411 – Chodba

Větrání této místnosti bude zajištěno její polohou. Přes tuto místnost bude proudit vzduch z místností s přívodem čerstvého vzduchu do místností s odsáváním odpadního vzduchu.

Na základě rovnice (1) byl vytvořen výpočet v programu Excel, který se nachází v příloze P1 a ze kterého lze zjistit potřebné množství přiváděného vzduchu, potřebnou intenzitu větrání, tepelnou ztrátu nebo tepelný zisk větráním, aktuální koncentraci CO_2 a dobu k dosažení určité koncentrace CO_2 v závislosti na různých vstupních parametrech.

Pro místnosti v řešeném bytu jsou vypočítané hodnoty uvedeny v tab. 7 a tab. 8. Ve výpočtu byla zanedbána výměna vzduchu infiltrací a bylo uvažováno s běžnou klidovou aktivitou osob dle kapitoly 2.1.5.

Koncentrace CO_2 v přiváděném vzduchu je cca 400 ppm [43] a maximální koncentrace CO_2 v interiéru byla volena v rozmezí 1000–1500 ppm dle Kašíka [43] a vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3]. Při výpočtu byly zohledněny: požadavek na rovnotlaké větrání, kdo se bude v místnosti především vyskytovat (muž, žena, dítě) a předpokládaná skutečná aktivita.

Tab. 7 – Skutečná koncentrace CO_2 při určených parametrech a kontinuálním větrání

Č. místnosti	Název místnosti	Počet osob	Přívod čerstvého vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Koncentrace CO_2 [ppm]
401	Ložnice	2	40	1300
402	Pracovna	1	30	1000
403	Dětský pokoj	3	75	1120
405	Obývací pokoj	5	125	1120

Tab. 8 – Doba k dosažení koncentrace CO_2 1000 ppm po dokonalém vyvětrání a následné nulové výměně vzduchu

Č. místnosti	Název místnosti	Počet osob	Doba k dosažení 1000 ppm CO_2 [min]	Doba k dosažení 1500 ppm CO_2 [min]
401	Ložnice	2	32	58
402	Pracovna	1	42	76
403	Dětský pokoj	3	21	38
405	Obývací pokoj	5	21	39

Z tab. 8 je zřejmé, že k vydýchání vzduchu v místnostech dojde během několika desítek minut. Aby byla koncentrace CO_2 v přípustných mezích, je nutné přivádět čerstvý vzduch, a to častým otevíráním oken nebo aktivním větracím systémem.

4.2 Tepelné zisky

4.2.1 Vzorový výpočet

Tento vzorový výpočet byl proveden pro pracovnu (místnost 402) a 15. hodinu dle slunečního času.

Pro výpočet bylo využito programu Microsoft Office 365 Excel a kompletní výpočet je přílohou P4 této práce.

Výměna vzduchu byla volena tak, aby byla dodržena norma ČSN EN 15665 – Z1 [17] pro minimální množství přiváděného i odváděného vzduchu, nedocházelo k velkým tepelným ziskům větráním a současně bylo zajištěno stejné množství přiváděného a odváděného vzduchu větrací jednotkou, tedy rovnotlaké větrání.

Dle normy ČSN EN 15665 – Z1 [17] určuje minimální množství přiváděného vzduchu na osobu $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a doporučená hodnota je $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. Vzhledem k přepokládanému počtu jedné osoby ve vzorové místnosti a s ohledem na účel této místnosti bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu na $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Součinitel $s = 0,9$ byl zvolen z důvodu, že okno má dvojité sklo, korekce na čistotu atmosféry byla zvolena $c_0 = 0,85$ pro velkoměstskou oblast (Brno) a součinitel znečištění atmosféry $z = 5$ pro měsíc červenec. Norma ČSN 73 0548 [37] stanovuje obvyklé přípustné zvýšení teploty v klimatizovaném prostoru o 2 K, v tomto případě byl zvolen 1 K z důvodu, aby bylo akumulováno nižší množství tepla.

Velikost tepelného zisku od elektronických zařízení byla definována na základě očekávaného vybavení jednotlivých místností.

Produkce tepla od lidí:

$$\dot{Q}_1 = i_1 \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i) = 1 \cdot 6,2 \cdot (36 - 26) = 62 \text{ W} \quad (53)$$

Kde:

\dot{Q}_1	[W]	produkce tepla od lidí
i_1	[-]	ekvivalentní počet lidí
t_i	[°C]	vnitřní teplota

Ekvivalentní počet lidí:

$$i_1 = 0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m = 0,85 \cdot 0 + 0,75 \cdot 0 + 1 = 1 \quad (54)$$

Kde:

i_1	[-]	ekvivalentní počet lidí
i_z	[-]	počet žen
i_d	[-]	počet dětí
i_m	[-]	počet mužů

Tepelný zisk od elektronických zařízení:

$$\dot{Q}_e = 250 \text{ W} \quad (55)$$

Kde:

\dot{Q}_e [W] tepelný zisk od elektronických zařízení

Ohřátí vzduchu ve vzduchovodech:

$$\Delta t = \frac{U \cdot A \cdot \Delta t_m}{1200 \cdot w \cdot S} = \frac{3 \cdot 0,96 \cdot 7,43}{1200 \cdot 1,31 \cdot 0,006} = 2,14 \text{ K} \quad (56)$$

Kde:

Δt	[K]	ohřátí vzduchu ve vzduchovodech
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla
A	[m ²]	povrch vzduchovodu, kterým prochází teplo
Δt_m	[K]	střední rozdíl teplot mezi vzduchem v potrubí a okolním vzduchem
w	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění vzduchu ve vzduchovodu
S	[m ²]	průřez vzduchovodu

Tepelný zisk od vzduchovodu:

$$\dot{Q}_z = \dot{M} \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = \dot{Q}_z = 0,01 \cdot 1010 \cdot (17,5 - 19,6) = -21,6 \text{ W} \quad (57)$$

Kde:

\dot{Q}_z	[W]	tepelný zisk od vzduchovodu
\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok vzduchu
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t_1	[°C]	teplota vzduchu na vstupu
t_2	[°C]	teplota vzduchu na výstupu

Tepelný zisk od větracího vzduchu:

$$\dot{Q}_v = \dot{M} \cdot c \cdot (t' - t'') = 0,01 \cdot 1010 \cdot (19,6 - 26) = -64,2 \text{ W} \quad (58)$$

Kde:

\dot{Q}_v	[W]	tepelný zisk od větracího vzduchu
\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok vzduchu
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t'	[°C]	teplota vzduchu na vstupu do místnosti
t''	[°C]	teplota vzduchu na výstupu z místnosti

Tepelný zisk ze sousedních místností:

$$\dot{Q}_m = U \cdot S \cdot (t_{is} - t_i) = 3,08 \cdot 8,01 \cdot (30 - 26) = 98,7 \text{ W} \quad (59)$$

Kde:

\dot{Q}_m	[W]	tepelný zisk ze sousedních místností
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S	[m ²]	plocha stěny
t_{is}	[°C]	teplota sousední místnosti
t_i	[°C]	teplota klimatizované místnosti

Tepelný zisk konvekci okny:

$$\dot{Q}_{ok} = U_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i) = 1,5 \cdot 2,25 \cdot (30 - 26) = 13,5 \text{ W} \quad (60)$$

Kde:

\dot{Q}_{ok}	[W]	tepelný zisk konvekci okny
U_o	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla oknem
S_o	[m ²]	plocha okna včetně rámu
t_e	[°C]	vnější teplota
t_i	[°C]	vnitřní teplota

Délka stínu vrženého svislým slunolamem:

$$e_1 = d_s \cdot |tg(a - \gamma)| = 0,18 \cdot |tg(246 - 325)| = 0,93 \text{ m} \quad (61)$$

Kde:

e_1	[m]	délka stínu vrženého svislým slunolamem
d_s	[m]	hloubka svislého slunolamu
a	[°]	sluneční azimut
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny

Délka stínu vrženého vodorovným slunolamem:

$$e_2 = \frac{c_s \cdot |tg(h)|}{\cos(a - \gamma)} = \frac{0,18 \cdot |tg(44)|}{\cos(246 - 325)} = 0,91 \text{ m} \quad (62)$$

Kde:

e_2	[m]	délka stínu vrženého vodorovným slunolamem
c_s	[m]	hloubka vodorovného slunolamu
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
a	[°]	sluneční azimut
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny

Osluněná plocha oken:

$$S_{os} = n_{oken} \cdot [l_A - (e_1 - f_s)] \cdot [l_B - (e_2 - g_s)] \\ = 1 \cdot [1,5 - (0,93 - 0,19)] \cdot [1,5 - (0,91 - 0,14)] = 0,56 \text{ m}^2 \quad (63)$$

Kde:

S_{os}	[m ²]	osluněná plocha oken
n_{oken}	[-]	počet oken
l_A	[m]	šířka okna
l_B	[m]	výška okna
e_1	[m]	délka stínu vrženého svislým slunolamem
e_2	[m]	délka stínu vrženého vodorovným slunolamem
f_s	[m]	vzdálenost svislého slunolamu od zasklení
g_s	[m]	vzdálenost vodorovného slunolamu od zasklení

Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům:

$$I_{Dk} = 1350 \cdot e^{\left[-0,1 \cdot z \cdot \left(\frac{16000-H}{(16000+H) \cdot \sin(h)}\right)^{0,8}\right]} = 1350 \cdot e^{\left[-0,1 \cdot 5 \cdot \left(\frac{16000-320}{(16000+320) \cdot \sin(44)}\right)^{0,8}\right]} \\ = 706,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (64)$$

Kde:

I_{Dk}	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
z	[-]	součinitel znečištění atmosféry
H	[m]	nadmořská výška
h	[°]	výška Slunce nad obzorem

Intenzita difuzní sluneční radiace:

$$I_d = \left[1350 - I_{Dk} - (1080 - 1,4 \cdot I_{Dk}) \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right] \cdot \frac{\sin(h)}{3} \\ = \left[1350 - 706,1 - (1080 - 1,4 \cdot 706,1) \cdot \sin^2\left(\frac{90}{2}\right)\right] \cdot \frac{\sin(44)}{3} \\ = 138,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (65)$$

Kde:

I_d	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní sluneční radiace
I_{Dk}	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
α	[°]	úhel stěny s vodorovnou rovinou
h	[°]	výška Slunce nad obzorem

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků:

$$\begin{aligned}\theta &= \arccos(\sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - \gamma)) \\ &= \arccos(\sin(44) \cdot \cos(90) + \cos(44) \cdot \sin(90) \cdot \cos(246 - 325)) \\ &= 82,1^\circ\end{aligned}\quad (66)$$

Kde:

θ	$[\circ]$	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků
h	$[\circ]$	výška Slunce nad obzorem
α	$[\circ]$	úhel stěny s vodorovnou rovinou
a	$[\circ]$	sluneční azimut
γ	$[\circ]$	azimutový úhel normály stěny

Intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu:

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos(\theta) = 706,1 \cdot \cos(82,1) = 96,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (67)$$

Kde:

I_D	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_{Dk}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
θ	$[\circ]$	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna:

$$T_D = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{82,1}{100}\right)^5 = 0,32 \quad (68)$$

Kde:

T_D	$[-]$	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna
θ	$[\circ]$	úhel mezi normálou k oknu a slunečními paprsky

Intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem:

$$I_{Okd} = T_{D0} \cdot I_d = 0,85 \cdot 138,5 = 117,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (69)$$

Kde:

I_{Okd}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem
T_{D0}	$[-]$	propustnost difuzní radiace standardního okna
I_d	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita difuzní sluneční radiace

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem:

$$I_{Ok} = T_D \cdot I_D + I_{Okd} = 0,32 \cdot 96,9 + 117,7 = 148,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (70)$$

Kde:

I_{Ok}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
T_D	$[-]$	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna
I_D	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_{Okd}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem

Tepelný zisk sluneční radiací okny:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{or} &= [S_{os} \cdot I_{Ok} \cdot c_0 + (S_o - S_{os}) \cdot I_{Okd}] \cdot s \\ &= [0,56 \cdot 148,8 \cdot 0,85 + (2,25 - 0,56) \cdot 117,7] \cdot 0,9 = 242,8 \text{ W} \end{aligned} \quad (71)$$

Kde:

\dot{Q}_{or}	$[\text{W}]$	tepelný zisk sluneční radiací okny
S_{os}	$[\text{m}^2]$	osluněná plocha oken
I_{Ok}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
c_0	$[-]$	korekce na čistotu atmosféry
S_o	$[\text{m}^2]$	celková plocha oken
I_{Okd}	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem
s	$[-]$	stínící součinitel

Hmotnost akumulčních ploch:

$$M = \frac{\rho_s \cdot S \cdot t_{aku}}{t_{sk}} = \frac{408 \cdot 18,5 \cdot 0,08}{0,18} + \frac{240 \cdot 4,3 \cdot 0,055}{0,11} + \frac{392 \cdot 8,01 \cdot 0,08}{0,17} = 5\,347 \text{ kg} \quad (72)$$

Kde:

M	$[\text{kg}]$	hmotnost akumulčních ploch
ρ_s	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$	plošná hustota
S	$[\text{m}^2]$	plocha konstrukce
t_{aku}	$[\text{m}]$	akumulační tloušťka konstrukce
t_{sk}	$[\text{m}]$	skutečná tloušťka konstrukce

Snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken vlivem akumulace:

$$\Delta \dot{Q} = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t_{max} = 0,05 \cdot 5347 \cdot 1 = 267,4 \text{ W} \quad (73)$$

Kde:

$\Delta \dot{Q}$	$[\text{W}]$	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken
M	$[\text{kg}]$	hmotnost akumulčních ploch
Δt_{max}	$[\text{K}]$	maximální přípustné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru

Tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci:

$$\dot{Q}_{or a} = \dot{Q}_{or} - \Delta\dot{Q} = 242,8 - 267,4 = -24,6 \leq 0 \text{ W} \quad (74)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or a}$ [W]	tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci
\dot{Q}_{or} [W]	tepelný zisk sluneční radiací okny
$\Delta\dot{Q}$ [W]	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken

Průměrný zisk sluneční radiací okny:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{or m} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{or i} \\ &= \frac{1}{15} \\ &\quad \cdot (43,2 + 92,6 + 136,7 + 170,2 + 202,3 + 223,7 + 238,6 + 248,1 + 255,6 \\ &\quad + 264,3 + 242,8 + 362,8 + 501,5 + 450,6 + 140,0) = 238,2 \text{ W} \end{aligned} \quad (75)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or m}$ [W]	průměrný zisk sluneční radiací okny
n [-]	počet hodin
$\dot{Q}_{or i}$ [W]	zisk sluneční radiací okny v i-té hodině

Skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny:

$$\dot{Q}_{or sk} = \max(\dot{Q}_{or a}; \dot{Q}_{or m}) = \max(0; 238,2) = 238,2 \text{ W} \quad (76)$$

Kde:

$\dot{Q}_{or sk}$ [W]	skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny
$\dot{Q}_{or a}$ [W]	tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci
$\dot{Q}_{or m}$ [W]	průměrný zisk sluneční radiací okny

Součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou:

$$m = \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500^\delta} = \frac{1 + 7,6 \cdot 0,38}{2500^{0,38}} = 0,199 \quad (77)$$

Kde:

m [-]	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou
δ [m]	tloušťka stěny

Fázové posunutí teplotních kmitů:

$$\psi = 32 \cdot \delta - 0,5 = 32 \cdot 0,38 - 0,5 = 11,7 \text{ h} \quad (78)$$

Kde:

ψ [h]	fázové posunutí teplotních kmitů
δ [m]	tloušťka stěny

Tepelný zisk středně těžkou stěnou:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{s1} &= U \cdot S \cdot [(t_{rm1} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm1})] \\ &= 0,29 \cdot 3,6 \cdot [(27,8 - 26) + 0,199 \cdot (16 - 27,8)] = -0,58 \leq 0 \text{ W}\end{aligned}\quad (79)$$

Kde:

\dot{Q}_{s1}	[W]	tepelný zisk středně těžkou stěnou
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S	[m ²]	plocha stěny
t_{rm1}	[°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
t_i	[°C]	teplota interiéru
$t_{r\psi}$	[°C]	rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější
m	[-]	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou

Tepelný zisk těžkou stěnou:

$$\dot{Q}_{s2} = U \cdot S \cdot (t_{rm2} - t_i) = 0,26 \cdot 8,01 \cdot (33,6 - 26) = 16,0 \text{ W} \quad (80)$$

Kde:

\dot{Q}_{s2}	[W]	tepelný zisk těžkou stěnou
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
S	[m ²]	plocha stěny
t_{rm2}	[°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
t_i	[°C]	teplota interiéru

Tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu:

$$\dot{Q}_L = \dot{V}_L \cdot \rho_L \cdot c_L \cdot (t_e - t_i) = \frac{30}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (30 - 17,5) = 126,3 \text{ W} \quad (81)$$

Kde:

\dot{Q}_L	[W]	tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu
\dot{V}_L	[m ³ ·s ⁻¹]	přívod čerstvého vzduchu
ρ_L	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
c_L	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
t_e	[°C]	teplota nasávaného vzduchu
t_i	[°C]	teplota interiéru

Celkové tepelné zisky:

$$\begin{aligned}\Sigma \dot{Q} &= \dot{Q}_1 + \dot{Q}_e + \dot{Q}_z + \dot{Q}_v + \dot{Q}_m + \dot{Q}_{ok} + \dot{Q}_{or\ sk} + \dot{Q}_{s1} + \dot{Q}_{s2} \\ &= 62,0 + 250,0 - 21,6 - 64,2 + 98,7 + 13,5 + 238,2 - 0,6 + 16,0 \\ &= 591,9\ W\end{aligned}\quad (82)$$

Kde:

$\Sigma \dot{Q}$	[W]	celkové tepelné zisky
\dot{Q}_1	[W]	produkce tepla od lidí
\dot{Q}_e	[W]	tepelný zisk od elektronických zařízení
\dot{Q}_z	[W]	tepelný zisk od vzduchovodu
\dot{Q}_v	[W]	tepelný zisk od větracího vzduchu
\dot{Q}_m	[W]	tepelný zisk ze sousedních místností
\dot{Q}_{ok}	[W]	tepelný zisk konvekci okny
$\dot{Q}_{or\ sk}$	[W]	skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny
\dot{Q}_{s1}	[W]	tepelný zisk středně těžkou stěnou
\dot{Q}_{s2}	[W]	tepelný zisk těžkou stěnou

Tepelná zátěž klimatizovaného prostoru:

$$\dot{Q}_{ic} = \Sigma \dot{Q} + \dot{Q}_L = 591,9 + 126,3 = 718,1\ W\quad (83)$$

Kde:

\dot{Q}_{ic}	[W]	tepelná zátěž klimatizovaného prostoru
$\Sigma \dot{Q}$	[W]	celkové tepelné zisky
\dot{Q}_L	[W]	tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu

4.2.2 Potřebný chladicí výkon

Výpočet tepelných zisků bytu dle normy ČSN 73 0548 [37] byl proveden v programu Excel a je přílohou P4 této práce. Tato norma však umožňuje výpočet pouze pro průměrný den 21. 7. Z tohoto důvodu byly následně tepelné zisky vypočítány v softwaru TepZisky2016 (doplňek pro Excel), který umožňuje provést výpočet pro všechny měsíce průměrného roku (konkrétní výpočtový den není uveden) a je přílohou P3 této práce.

Větrání bylo uvažováno větrací jednotkou s rekuperací, vybavenou systémem CoolBreeze. Množství větracího vzduchu bylo voleno dle kapitoly 4.1.

Při výpočtu byl součinitel $s = 0,9$ zvolen z důvodu, že okno má dvojitě sklo, korekce na čistotu atmosféry byla zvolena $c_0 = 0,85$ pro velkoměstskou oblast (Brno) a součinitel znečištění atmosféry v případě výpočtu dle ČSN 73 0548 [37] $z = 5$ pro měsíc červenec. Norma ČSN 73 0548 [37] stanovuje obvyklé přípustné zvýšení teploty v klimatizovaném prostoru o 2 K, v tomto případě byl zvolen 1 K z důvodu, aby bylo akumulováno nižší množství tepla.

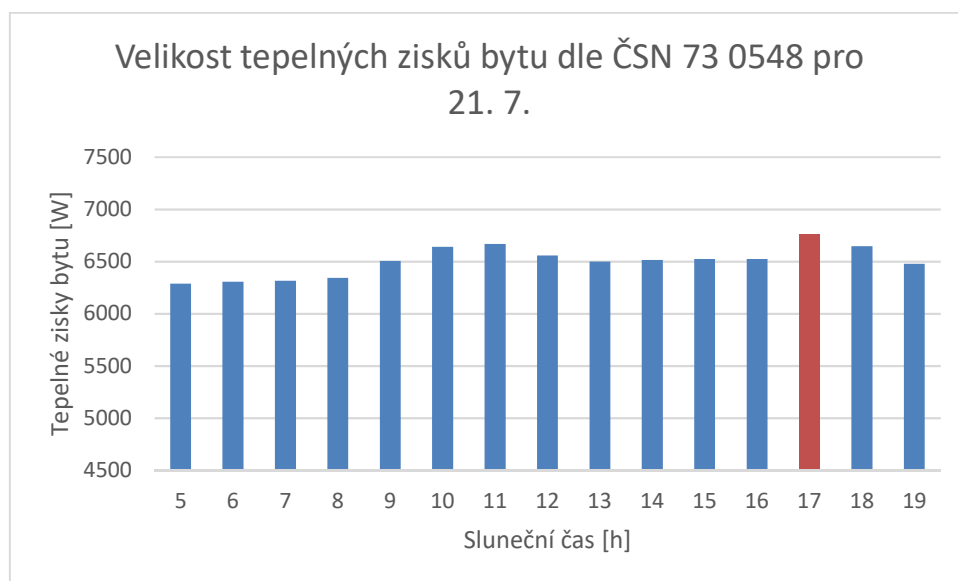
Tab. 9 – Maximální tepelné zisky místností a bytu pro normovaný den 21. 7. dle ČSN 73 0548 [37]

Č. místnosti	Název místnosti	Maximální tepelné zisky [W]	Sluneční čas [h]
401	Ložnice	1 082	17
402	Pracovna	592	15
403	Dětský pokoj	480	17
404	Předsín	1 000	5-19
405	Obývací pokoj	1 061	16
407	Kuchyň	2 664	10
411	Chodba	102	5-19
Celý byt		6 761	17

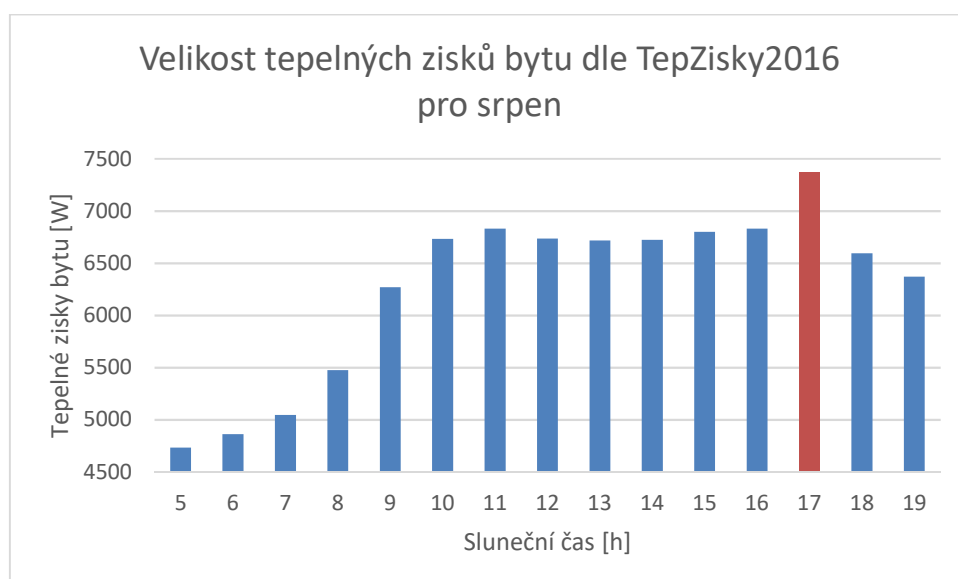
Tab. 10 – Maximální tepelné zisky místností a bytu dle softwaru TepZisky2016

*Výpočtový den není v programu uveden.

Č. místnosti	Název místnosti	Maximální tepelné zisky [W]	Měsíc*	Sluneční čas [h]
401	Ložnice	1 239	6.	17
402	Pracovna	734	6.	17
403	Dětský pokoj	765	6.	17
404	Předsín	981	7.	16
405	Obývací pokoj	2 282	10.	11
407	Kuchyň	2 872	10.	11
411	Chodba	97	7.	16
Celý byt		7 369	8.	17



Obr. 13 – Graf velikosti tepelných zisků bytu dle ČSN 73 0548 pro normovaný den 21. 7.



Obr. 14 – Graf velikosti tepelných zisků bytu dle softwaru TepZisky2016 pro měsíc s nejvyššími tepelnými zisky (srpen)

Jak je patrné z tabulek tab. 9 a tab. 10 a sloupcových grafů na obr. 13 a obr. 14, softwarem TepZisky2016 byly s výjimkou chodby a předsíně zjištěny vyšší tepelné zisky. Pro návrh chlazení bytu bude uvažováno s vyššími hodnotami.

V hodnoty maximálních tepelných zisků jsou uvedeny bez započítání tepelných zisků z přívodu čerstvého větracího vzduchu, jelikož tyto tepelné zisky budou pokryty větrací jednotkou s rekuperací, vybavenou systémem CoolBreeze, zatímco ostatní tepelné zisky budou pokryty chladicím systémem dle vybrané varianty návrhu.

5 Řešení

5.1 Větrání

Větrání bude realizováno větrací jednotkou Jablotron Futura 100–350 m³·h⁻¹, vybavenou entalpickým výměníkem a systémem CoolBreeze pro eliminaci tepelných zisků větráním.

Větrací jednotka bude umístěna v rohu místnosti 411 – chodba 1 m nad zemí a připojena na odpadní potrubí pro odvod kondenzátu. Sání vzduchu bude realizováno z jižní strany v místě lodžie. TPW 170 01 [44] doporučuje sání vzduchu ze severní strany, což však není z dispozičních důvodů bytu možné. Výfuk odpadního vzduchu bude v souladu s TPW 170 01 [44] nad střechu objektu.

Vzduchovody sání venkovního vzduchu a výfuku odpadního vzduchu budou realizovány EPP potrubím, rozvody vzduchu mezi větrací jednotkou a místnostmi EPP potrubím a následně flexibilním plastovým potrubím DN 90, vedeným v podhledu. Potrubí bude zakončeno na přívodu vzduchu designovými skleněnými ventily a na odvodu ze sociálních zařízení talířovými ventily a z kuchyně digestoří. Potrubí vedené místnostmi 404 a 411 bude tepelně izolováno.

Rychlost ve vzduchovodu a následná dimenze, respektive počet přívodních potrubí, byly voleny dle ASHRAE [45], podkladů firmy MATEICIUC [27] a s ohledem na jednotnost použitých průměrů potrubí.

Podrobné uspořádání je uvedeno na výkresu v příloze P7 a kusovník v příloze P8 této práce.

Zaregulování vzduchotechnické soustavy bude provedeno na místě po instalaci při zkoušce větrání průtokoměrem a nastavením tlakové ztráty koncových prvků. Byly určeny tlakové ztráty větví z flexibilního potrubí, které se však mohou lišit s ohledem na poloměr ohybu (minimálně 0,33 m). Tlakové ztráty všech větví nebylo možné určit, protože nebyl zjištěn součinitel místní tlakové ztráty rozdělovacích boxů.

Každá koncová větev bude regulována elektrickou regulační klapkou pro řízení průtoku dle CO₂ v místnosti nebo požadavků na odvod vzduchu. Tuto regulaci vč. čidel CO₂ zajistí profese MaR.

Větrací jednotka bude napájena elektrinou o parametrech 230 V / 50 Hz ze samostatného elektrického okruhu s vlastním jističem.

Ve dveřích každé místnosti musí být zřízen neuzavíratelný otvor nebo jiný prostup pro průchod větracího vzduchu.

5.1.1 Tlakové ztráty

Vzorový výpočet

Vzorový výpočet je uveden pro flexibilní plastové potrubí větve do místnosti 402.

Flexibilní plastové potrubí DN 90 má vnitřní průměr 75 mm. Z toho se průtočný průřez určí jako [28]:

$$S_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,142 \cdot 0,075^2}{4} = 0,004 \text{ m}^2 \quad (84)$$

Kde:

S_p	[m ²]	průtočný průřez potrubí
π	[-]	Ludolfovo číslo
d	[m]	vnitřní průměr potrubí

Do místnosti 402 se přivádí jmenovitý průtok vzduchu $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Z průtočného průřezu a průtoku vzduchu se určí rychlost proudění vzduchu v potrubí jako [26]:

$$v = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{40}{\frac{3600}{0,004}} = 2,515 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (85)$$

Kde:

v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	střední rychlost proudění kapaliny v potrubí
\dot{V}	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový průtok
S_p	$[\text{m}^2]$	průtočný průřez potrubí

Součinitel místní tlakové ztráty byl určen dle ASHRAE [45] a místní tlaková ztráta se určí jako [25]:

$$\Delta p_m = \frac{\xi \cdot v^2 \cdot \rho}{2} = \frac{0,1 \cdot 2,515^2 \cdot 1,2}{2} = 0,380 \text{ Pa} \quad (86)$$

Kde:

Δp_m	$[\text{Pa}]$	místní tlaková ztráta
ξ	$[-]$	součinitel místní tlakové ztráty
v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	střední rychlost proudění tekutiny v potrubí
ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota proudící tekutiny

Délková ztráta na 1 m délky potrubí byla zjištěna z katalogu firmy MATEICIUC [46] a délková tlaková ztráta celého potrubí se určí jako [25]:

$$\Delta p_L = \frac{\lambda_L \cdot L_p \cdot v^2 \cdot \rho}{2 \cdot d} = \Delta p_{1m} \cdot L_p = 1,3 \cdot 5,39 = 7,007 \text{ Pa} \quad (87)$$

Kde:

Δp_L	$[\text{Pa}]$	délková tlaková ztráta
λ_L	$[-]$	součinitel délkové tlakové ztráty
L_p	$[\text{m}]$	délka potrubí
v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	střední rychlost proudění tekutiny v potrubí
ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota proudící tekutiny
d	$[\text{m}]$	vnitřní průměr potrubí
Δp_{1m}	$[\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}]$	délková tlaková ztráta na 1 m délky potrubí

Celková tlaková ztráta je dána součtem místní a délkové tlakové ztráty, tedy:

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_m = 7,007 + 0,380 = 7,387 \text{ Pa} \quad (88)$$

Kde:

Δp	$[\text{Pa}]$	celková tlaková ztráta
Δp_L	$[\text{Pa}]$	délková tlaková ztráta
Δp_m	$[\text{Pa}]$	místní tlaková ztráta

Výsledky

Tab. 11 – Tlakové ztráty flexibilního potrubí jednotlivých větví

Větev	Název místnosti	Počet ohybů 45°	Počet ohybů 90°	Délka [m]	Jmenovitý průtok [m³h⁻¹]	Celková tlaková ztráta větve [Pa]
401	Ložnice	1	0	5,39	40	7,4
402	Pracovna	2	0	4,99	30	4,9
403a	Dětský pokoj	3	0	7,10	37,5	9,5
403b	Dětský pokoj	2	1	5,62	37,5	8,0
405a	Obývací pokoj	2	1	2,64	41,7	5,0
405b	Obývací pokoj	1	1	3,89	41,7	6,2
405c	Obývací pokoj	1	1	5,81	41,7	8,7
407a	Kuchyň	1	0	1,09	50	2,7
407b	Kuchyň	1	0	1,04	50	2,6
407c	Kuchyň	1	0	0,91	50	2,3
409	WC	0	1	1,12	40	2,1
410a	Koupelna	0	1	2,72	40	4,2
410b	Koupelna	0	1	2,61	40	4,0

5.2 Chlazení

5.2.1 Varianta 1

V této variantě je navrženo chlazení stropními sálavými panely BLife od firmy 4heat. Rozmístění panelů je zřejmé z přílohy P9. Panely byly v místnostech rozmístěny tak, aby zaplnily největší možnou plochu. Je zřejmé, že by bylo vhodné ve všech místnostech použít ještě jeden panel o rozměrech 0,6 x 0,6 m, avšak takovýto není k dispozici. Panely byly primárně rozmístěny v okolí vnějších obvodových stěn a oken, aby byly tepelné zisky od nich eliminovány co nejlépe.

Jako zdroj chladu bude sloužit akumulční nádrž o objemu 1 000 litrů, chlazená kompresorovým chladicím zařízením Templari Kita 10 Si, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 12. Jedná se o zařízení s nejnižším výkonem, které má tento výrobce v nabídce. Akumulční nádrž vyrovná špičkové potřeby chladu, tím umožní kompresorovému chladicímu zařízení pracovat v optimálním provozním režimu, čímž bude minimalizována spotřeba elektrické energie. Akumulční nádrž také umožňuje výrobu chladné vody při nižší venkovní teplotě (např. v noci), než bude v době potřeby. Tím dojde ke zvýšení COP_{ref} a dalšímu snížení spotřeby elektrické energie.

Kompresorové chladicí zařízení a akumulční nádrž budou umístěny na střeše objektu. Trubní rozvod s chladicí vodou bude veden od akumulční nádrže přes směšovací trojcestný ventil prostupem do podhledu v bytu a odtud rozveden k jednotlivým chladicím panelům. Kompresorové chladicí zařízení bude připojeno na odpadní potrubí, řešené profesí zdravotně-technické instalace (ZTI), pro odvod kondenzátu. Akumulční nádrž i trubní rozvod budou tepelně izolovány z důvodu snížení tepelných zisků a zamezení kondenzace.

Před instalací akumulční nádrže je třeba ověřit nosnost střechy, a případně navrhnout vhodné stavební řešení k rozložení hmotnosti na dostatečně velkou plochu.

Kompresorové chladicí zařízení bude napájeno elektrinou o parametrech 230 V / 50 Hz ze samostatného elektrického okruhu s vlastním jističem.

Teplotní spád chladicí vody byl zvolen na nominální hodnotu dle výrobce [30]. Jak ukazují tab. 10 a tab. 14, bylo zjištěno, že tento teplotní spád není dostatečný pro dosažení potřeb-

ného chladicího výkonu k pokrytí tepelných zisků v jednotlivých místnostech ani celkově. Dle Drkala [6] je minimální teplota přívodní vody 16 °C a teplotní spád 2–4 K. Z toho plyne, že pro dosažení maximálního chladicího výkonu panelů je možné změnit teplotní spád až na 18/16 °C. Ovšem z tab. 10 a tab. 14 je zřejmé, že ani po této optimalizaci není chladicí výkon dostatečný k pokrytí tepelných zisků a maximálně odvede pouze 2,9 kW.

Z rovnice (17) byl vypočítány hmotnostní průtoky chladicí vody. Jak plyne z tab. 15, při změně teplotního spádu z 20/16 °C na 18/16 °C dojde k více než zdvojnásobení hmotnostního průtoku. Zvýšení průtoku znamená větší tlakové ztráty, obdobně jako u vzduchotechniky, což klade vyšší nároky na výkon oběhového čerpadla a zvyšuje hlučnost systému.

Z výše popsanych důvodů není tento systém dostatečně výkonný pro pokrytí maximálních tepelných zisků a může sloužit ke snížení teploty interiéru, avšak nebude schopen dosáhnout požadovaných 26 °C v obytných místnostech a kuchyni.

V ostatních částech bytu není stropní chlazení navrženo, jelikož se zde obyvatelé vyskytují pouze po minimální dobu a přes tyto místnosti, bude odsáván odpadní vzduch. Odpadní vzduch bude odsáván také z kuchyně, avšak v ní je předpokládán výskyt osob po delší časový úsek.

Tab. 12 – Parametry Templari Kita 10 Si [47]

Teplota vzduchu/vody	Parametr	Střední výkon	Maximální výkon
35/7 °C	Chladicí výkon	4,67 kW	6,71 kW
	COP _{ref}	3,50	3,48
35/18 °C	Chladicí výkon	6,09 kW	8,75 kW
	COP _{ref}	4,78	4,48

5.2.2 Varianta 2

V této variantě je navrženo chlazení stejným způsobem jako ve variantě 1 doplněné o stěnový sálavý systém chlazení. Plocha panelů bude dostatečná, aby výkon systému pokryl maximální tepelné zisky v chlazených místnostech. Minimální plocha sálavých panelů je uvedena v tab. 16.

5.2.3 Varianta 3

V této variantě je navrženo chlazení bytu systémem multisplit s jednou venkovní jednotkou Sinclair MV-E28BI a čtyřmi vnitřními jednotkami. Typy vnitřních jednotek, jejich výkon a umístění jsou uvedeny v tab. 13. Dispoziční řešení systému je zřejmé z výkresu v příloze P10.

Venkovní jednotka bude umístěna na střeše a z ní vedeno chladivo potrubím přes prostup střechou do podhledu v bytu. Potrubí bude vedeno společným podhledem se vzduchotechnikou a následně přivedeno k jednotlivým vnitřním jednotkám.

Venkovní jednotka i vnitřní jednotky budou připojeny na odpadní potrubí ZTI pro odvod kondenzátu.

Venkovní jednotka i vnitřní jednotky budou napájeny elektřinou o parametrech 230 V / 50 Hz. Vnitřní jednotky umožňují nastavení teploty na 16–30 °C.

Venkovní jednotka poskytuje chladicí výkon až 8 kW, který je dostatečný pro pokrytí maximálních tepelných zisků. Vnitřní jednotky mají v součtu výkon 9,0 kW. Z výše uvedeného plyne, že maximální výkon systému je dán výkonem venkovní jednotky. Chladicí výkon je cca 1,2x vyšší, než jsou špičkové vypočtené tepelné zisky bytu. Toto předimenzování je dáno velkým odstupňováním výkonů jednotek a potřebě alespoň čtyř výstupů pro vnitřní jednotky z jednotky venkovní. Jako chladivo bude použito R32.

Tab. 13 – Seznam vnitřních chladicích jednotek

Č. místnosti	Název místnosti	Typ jednotky	Chladicí výkon [kW]
401	Ložnice	Sinclair MV-H07BIF	2,1
402	Pracovna	Sinclair MV-H07BIF	2,1
403	Dětský pokoj	Sinclair MV-H07BIF	2,1
405	Obývací pokoj	Sinclair MV-H09BIF	2,7
Celkem			9,0

5.2.4 Velikost akumulční nádrže

Akumulční nádrž bude instalována v případě provedení systému dle varianty 1 nebo varianty 2. Její objem bude 1 m³. Z důvodu malého rozdílu teplot tento objem nedokáže pokrýt celodenní potřebu chladu, je však dostatečný k vyrovnání špiček tepelných zisků a umožňuje tak kompresorovému chladicímu zařízení běžet v optimálním výkonovém spektru.

Pro pokrytí maximálních tepelných zisků od 7 do 22 hodin, které lze zjistit z výsledků výpočtu softwaru TepZisky2016 v příloze P3 a umožnění chodu kompresorového chladicího zařízení pouze v noci by byl potřebný objem akumulční nádrže, zjištěný upravením a dosazením do rovnice (89), alespoň 9,8 m³ bez započítání tepelných zisků prostupem do nádrže. Takto velká nádrž by měla větší tepelné zisky, její instalace by byla obtížnější (nutnost použití jeřábu) a možná z důvodu omezené nosnosti střechy dokonce nemožná. Její pořizovací náklady by byly příliš vysoké ve srovnání s nádrží o objemu 1 m³.

Teplota T_1 byla zvolena 7 °C, jelikož se jedná o nižší z nominálních hodnot použitého kompresorového chladicího zařízení Templari Kita 10 Si a teplota T_2 byla zvolena 16 °C jako teplota vstupní vody do sálavých chladicích panelů.

Velikost hustoty a měrné tepelné kapacity byla určena lineární interpolací na střední teplotu vody 11,5 °C z dostupných tabelovaných hodnot.

$$Q_{12} = \rho \cdot V \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = 999,52 \cdot 1 \cdot 4,1923 \cdot (7 - 16) = -37\,712,59 \text{ kJ} \quad (89)$$

Kde:

Q_{12}	[J]	předávané teplo
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota
V	[m ³]	objem
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
T_1	[K]	teplota soustavy na počátku předávání tepla
T_2	[K]	teplota soustavy na konci předávání tepla

Z výpočtu (89) plyne, že do akumulční nádrže o objemu 1 m³ (1 000 litrů) se je při daných parametrech schopno akumulovat 37 712,59 kJ tepelné energie. Záporné znaménko je dáno z důvodu chlazení vody v nádrži, nikoli ohřívání. Po přepočtu lze zjistit, že se jedná o 10,48 kWh tepelné energie. Zásobník o tomto objemu tedy dokáže pokrýt maximální spotřebu chladu pro systém sálavých chladicích panelů na cca 1 hodinu a 25 minut v případě, že bude dimenzován k pokrytí maximálních tepelných zisků (varianta 2) a 3 hodiny a 40 minut v případě, že budou použity pouze stropní chladicí panely při teplotním spádu 16/18 °C (varianta 1).

5.2.5 Výkon sálavých panelů

Sálavé stropní panely budou instalovány v případě provedení systému dle varianty 1 a sálavé stropní panely společně se stěnovými sálavými panely v případě provedení systému dle varianty 2. Jejich maximální plocha je omezena rozměry chlazených místností.

Chladicím médiem bude voda a její průtok panely se stanoví z chladicího výkonu panelů rovnicí (17).

Chladicí výkon stropních panelů 4heat se dle výrobce [30] vypočítá jako:

$$\dot{Q}_p = 5,6351 \cdot \Delta t_m^{1,0841} \cdot S \quad (90)$$

Kde:

\dot{Q}_p	[W]	chladicí výkon panelu
Δt_m	[K]	rozdíl střední teploty chladicího média a teploty interiéru
S	[m ²]	plocha instalovaných chladicích panelů

Chladicí výkon stěnových panelů se dle výrobce [30] vypočítá jako:

$$\dot{Q}_p = 4,9066 \cdot \Delta t_m^{1,1349} \cdot S \quad (91)$$

Kde:

\dot{Q}_p	[W]	chladicí výkon panelu
Δt_m	[K]	rozdíl střední teploty chladicího média a teploty interiéru
S	[m ²]	plocha instalovaných chladicích panelů

5.2.6 Dostupný chladicí výkon

Dostupný chladicí výkon je dán chladicím výkonem stropních panelů, respektive součtem chladicích výkonů stropních a stěnových chladicích panelů.

Tab. 14 – Maximální chladicí výkon stropních panelů

Č. místnosti	Název místnosti	Chladicí výkon při 20/16 °C [W]	Chladicí výkon při 18/16 °C [W]
401	Ložnice	464	527
402	Pracovna	271	307
403	Dětský pokoj	464	527
405	Obývací pokoj	851	966
407	Kuchyň	464	527
Celkem		2 514	2 854

Tab. 15 – Průtok chladicího média při maximálním výkonu stropních panelů

Č. místnosti	Název místnosti	Průtok při 20/16 °C [kg·h ⁻¹]	Průtok při 18/16 °C [kg·h ⁻¹]
401	Ložnice	100	227
402	Pracovna	58	132
403	Dětský pokoj	100	227
405	Obývací pokoj	183	416
407	Kuchyň	100	227
Celkem		541	1229

Z důvodu malého rozdílu teplot a malé plochy stropu vzhledem k maximálním tepelným ziskům místností nedokáže systém se stropními panely pokrýt maximální potřebu chladu.

Pro pokrytí maximálních tepelných zisků lze plochu zvětšit o stěnové sálavé panely, jejichž minimální potřebná plocha je uvedena v tab. 16.

Tab. 16 – Minimální plocha stěnových sálavých panelů pro pokrytí tepelných zisků chlazených místností

Č. místnosti	Název místnosti	Minimální plocha při 20/16 °C [m ²]	Minimální plocha při 18/16 °C [m ²]
401	Ložnice	14,9	12,0
402	Pracovna	8,9	7,2
403	Dětský pokoj	5,8	4,0
405	Obývací pokoj	27,6	22,2
407	Kuchyň	46,3	39,5

6 Diskuse

Větrání bytu infiltrací je nedostatečné a větrání okny závisí na lidském faktoru, který může být značně neobjektivní. Větrání na základě objektivních informací je v současné době nejvhodnější aktivním větracím systémem s elektronickým řízením. Jedná se o finanční investici, která zahrnuje počáteční pořizovací náklady a poté provozní náklady. Avšak při větrání s rekuperací se sníží potřeba tepla na vytápění či chladu na chlazení a tím i náklady na energie.

Dle technického listu větrací jednotky Jablotron Futura [22] je pro průměrné klimatické podmínky spotřeba elektrické energie $2,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ a roční úspora tepla $47 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Z toho jednoznačně vyplývá, že využití větrací jednotky má pozitivní vliv na náklady na vytápění, případně chlazení. Finanční stránka však není tou jedinou a ani nejdůležitější. Důležitější faktor je zdravé vnitřní prostředí, ve kterém člověk tráví velkou část svého života, což je finančně těžko vyčíslitelný faktor a menší dopad na životní prostředí, jelikož se uspoří velké množství energie. Proto lze aktivní větrání s rekuperací doporučit.

V předchozí kapitole byly navrženy tři varianty řešení chlazení. Důvodů, proč zvolit sálavý chladicí systém před multisplit systémem, je několik. Sálavý chladicí systém nemá tolik negativních účinků na pohodu prostředí. Nedoprovází ho hluk, průvan, zajišťuje vhodnou povrchovou teplotu okolních ploch a je energeticky méně náročný. Z důvodu rizika kondenzace je třeba volit teplotu přívodní vody tak, aby nedocházelo k orosování povrchu [13]. Bylo však zjištěno, že samotné stropní chlazení není schopno pokrýt tepelné zisky místností. Toto lze vyřešit instalací sálavých chladicích panelů kromě do stropů také do stěn. Zde se však vyskytuje problém se zmenšením podlahové plochy místností a nevhodnosti instalace nábytku do blízkosti těchto panelů. V podhledech se budou nacházet také části větracího systému, které by mohly se systémem sálavého chlazení kolidovat. Sálavý chladicí systém není schopen odvádět vázané teplo z vodní páry a přináší s sebou vyšší pořizovací náklady [6]. Z těchto důvodů je doporučena varianta č. 3 – chlazení systémem multisplit.

7 Závěr

Byla provedena rešerše současného stavu poznání v oblasti větrání a chlazení obytných prostor a výpočty, na jejichž základě bylo navrženo vhodné řešení pro zadaný byt, nacházející se v posledním patře panelového domu vystavěného v 80. letech 20. století, v němž došlo vlivem zateplení a výměny oken ke zhoršení provětrávání a dochází k přehřívání bytu v letním období.

Jmenovitá hodnota průtoku větracího vzduchu pro celý byt byla stanovena s ohledem na normy, předpokládaný výskyt osob a jejich fyzickou aktivitu na $270 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro tuto hodnotu a dle jmenovitých průtoků v jednotlivých místnostech byl proveden návrh celého systému větrání. Vedení potrubí bylo navrženo s co nejnižším počtem prostupů nosnými stěnami.

Byt bude větrán větrací jednotkou Jablotron Futura 100–350 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Tato jednotka je vybavena entalpickým výměníkem, který umožňuje snížit tepelné ztráty nebo zisky větráním a brání vysušování vzduchu v zimním období. Byly navrženy jmenovité průtoky vzduchu pro určení vhodných dimenzí vzduchovodů, ale pro zvýšení efektivity bude výměna vzduchu řízena elektronicky v závislosti na koncentraci CO_2 a požadavcích pro odvod vzduchu z kuchyně a sociálních zařízení. Větrací vzduch bude distribuován potrubím vedeným v podhledu přes výustky do pobytových místností a odváděn kuchyní a místnostmi se sociálním zařízením obdobným způsobem.

Větrací zařízení bude vybaveno systémem CoolBreeze, který snižuje teplotu přiváděného větracího vzduchu. K pokrytí veškerých tepelných zisků by při chlazení pouze větracím vzduchem bylo potřebné velké množství výměn vzduchu, proto toto řešení není vhodné.

Byly provedeny dva různé výpočty tepelných zisků místností bytu. Jeden výpočet (příloha P4) dle normy ČSN 73 0548 [37], jenž bere jako referenční výpočtový den 21. červenec. Prvně byly vypočítány tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla a následně tepelné zisky z vnějšího prostředí. Druhý výpočet (příloha P3) byl proveden programem TepZisky2016 od QPRO.

Výpočtem programem TepZisky2016 bylo zjištěno, že maximálních tepelných zisků 7,4 kW dosahuje byt v měsíci srpnu v 17 hodin a maximální tepelné zisky jednotlivých místností jsou vyjma předsíně a chodby také vyšší při výpočtu programem TepZisky2016. Chlazení místností bylo navrhováno na vyšší z obou vypočítaných maximálních tepelných zisků dle odlišných postupů výpočtu.

Z důvodu vytápění bytu přes CZT bylo od počátku chlazení navrhováno jako zcela samostatný systém. Byly navrženy tři varianty chlazení a jako nejvhodnější vyšla varianta č. 3. – chlazení, respektive pokrytí tepelných zisků, systémem multisplit, např. od firmy Sinclair, s jednou venkovní a čtyřmi vnitřními jednotkami. Tento systém má dostatečný výkon pro pokrytí tepelných zisků bytu a současně může v případě výpadku centrálního zásobování teplem byt také v chladném období temperovat. Vnitřní jednotky budou umístěny pouze v místnostech s přívodem větracího vzduchu, jmenovitě ložnice, pracovna, dětský a obývací pokoj. Tyto jednotky mají vyšší výkon, než jsou špičkové tepelné zisky chlazené místnosti, ve které se nacházejí, proto dokážou vychladit místnost na nižší teplotu, než je návrhových 26°C a částečně pokrýt tepelné zisky místností bez chladicích jednotek. Nepřímo chlazené místnosti budou chlazeny prostupem tepla do přímo chlazených místností a odváděným odpadním vzduchem při větrání. Přímé chlazení všech místností bytu by znamenalo příliš vysoké pořizovací náklady, především z důvodu nutnosti použití výkonově předimenzované venkovní jednotky, která umožňuje připojení dostatečného množství jednotek vnitřních a čerstvě vychlazený vzduch by byl zrovna odváděn pryč. Druhé uvedené by však neznamenalo přílišné plýtvání, jelikož vzduch bude odváděn přes entalpický výměník větrací jednotky.

V současné době nebyla zjištěna žádná možnost získání státní podpory nebo dotace na tento projekt.

Program Nová zelená úsporám se vztahuje pouze na bytové domy v Praze, už jen proto jej nelze pro řešení byt využít. Mimo Prahu mohou bytové domy využít například dotačního programu IROP (Integrovaný regionální operační program) administrovaného Centrem pro regionální rozvoj a MMR ČR. Avšak jedná se pouze o možnost získání dotace pro celý bytový dům, nikoli pouze pro jednu bytovou jednotku a každý projekt musí zajistit vyšší energetickou účinnost stavby oproti předchozímu stavu.

Výpočty se všemi vstupními hodnotami, výsledky výpočtů a výkresy se nacházejí v přílohách této práce. Excelové soubory lze využít pro obdobné projekty s jinými vstupními hodnotami.

Při řešení této diplomové práce nebyla nalezena žádná norma řešící tepelné zisky v takovém měřítku, jako řeší tepelné ztráty její zimní obdoba – norma ČSN EN 12831 [36]. Tepelné zisky jsou stanovovány dle normy ČSN 73 0548 [37] z roku 1986, která obsahuje již značně zastaralá data, nelze s ní určit roční potřebu chladu, zatímco například určování roční potřeby tepla je zcela běžnou záležitostí a umožňuje výpočet pouze pro jeden konkrétní den, který nemusí být dnem nejvhodnějším pro návrh chlazení. Při výpočtu tepelných ztrát se lze spoléhat pouze na postup dle norem, avšak v případě výpočtu tepelných zisků může být pro přesný návrh vhodnější použití komerčního softwaru.

Seznam použitých zdrojů

- [1] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí: 1. část*. 1. upravené vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014.
- [2] HENS, Hugo. *Building physics: heat, air and moisture : fundamentals and engineering methods with examples and exercises*. 2nd ed. Berlin: Ernst & Sohn, a Wiley Company, 2012. ISBN 978-3-433-03027-1.
- [3] *Vyhláška č. 268/2009 Sb.: o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů*. In: . b.r.
- [4] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2011.
- [5] SZÉKYOVÁ, Marta. *Větrání a klimatizace*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-807-6037-3.
- [6] DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05652-3.
- [7] PAVELEK, Milan a Josef ŠTĚTINA. *Experimentální metody v technice prostředí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 9788021434264.
- [8] CHARVÁT, Pavel. *Technika prostředí (2): Čistota vzduchu. Účinky škodlivin na člověka. Elektroiontové mikroklima. Výpočet množství vzduchu při větrání*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, 2016.
- [9] Je Země v létě ke Slunci blíže a v zimě dál?. *100+1* [online]. Brno: Extra Publishing, c2007-2011 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://www.stoplusjednicka.cz/je-zeme-v-lete-ke-slunci-bliz-v-zime-dal>
- [10] POSPÍŠIL, Jiří. *Solární energie*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství, 2016.
- [11] CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: SNTL, 1973.
- [12] HENS, Hugo. *Applied building physics: boundary conditions, building performance and material properties*. Berlin: Ernst & Sohn, 2011. ISBN 978-3-433-02962-6.
- [13] ZMRHAL, Vladimír. *Sálavé chladicí systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 9788001043189.
- [14] ČSN EN ISO 14505-2: *Ergonomie tepelného prostředí - Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech - Část 2: Stanovení ekvivalentní teploty*. Český normalizační institut, 2007.
- [15] FIŠER, Jan. *Větrání a klimatizace I: Přednáška 2. - Tepelný komfort. Škodliviny ve vnitřním vzduchu. Klimatické podmínky*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, 2018.
- [16] CHARVÁT, Pavel. *Technika prostředí (3): Přirozené větrání, Nucené větrání*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, 2016.
- [17] ČSN EN 15665 - Z1: *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov - změna Z1*. 2011.
- [18] ČSN EN 15251: *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. 2011.
- [19] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

- [20] *Rekuperační jednotka FUTURA: Projekční podklady*. Holešov: Jablotron Living Technology, b.r.
- [21] *Rekuperační jednotka FUTURA: Uživatelský manuál*. Holešov: Jablotron Living Technology, b.r.
- [22] *Rekuperační jednotka FUTURA: Technický list*. Holešov: Jablotron Living Technology, b.r.
- [23] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-82-7.
- [24] *Katalog příslušenství FUTURA: Plíce Vašeho domova*. Holešov: Jablotron Living Technology, b.r.
- [25] DEBRECZENI, Ondřej. *Potrubní technika*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana, 2005.
- [26] PECH, Ondřej. *Větrání a klimatizace I - Cvičení 12.: Dimenzování vzduchovodů - metoda celkových tlaků*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, b.r.
- [27] *Klimaflex SB: Příslušenství pro flexibilní potrubí*. Odry: MATEICIUC, b.r.
- [28] DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002. Profi & hobby. ISBN 80-247-0222-3.
- [29] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021420294.
- [30] *BLife: Vysoce efektivní stropní a stěnový sálavý systém*. Brno: 4heat, b.r.
- [31] FIŠER, Jan. *Větrání a klimatizace I: Přednáška 11. – Zařízení pro ZZT. Chladicí zařízení pro klimatizaci*. Brno: FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, 2017.
- [32] *E.ON Rádce* [online]. České Budějovice: E.ON Česká republika, b.r. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/rekuperace-vzduchu>
- [33] KREITH, Frank. a D. GOSWAMI. *Energy management and conservation handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2008. Mechanical engineering series (Boca Raton, Fla.). ISBN 978-1-4200-4429-4.
- [34] VENKOVNÍ JEDNOTKY: MV-E42BI. *SINCLAIR* [online]. Brno: SINCLAIR Global Group, 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/multi-variable-serie-r32/venkovni-jednotky/6480-mv-e42bi-053031000002920.html>
- [35] NÁSTĚNNÉ JEDNOTKY FOCUS: MV-H07BIF. *SINCLAIR* [online]. Brno: SINCLAIR Global Group, 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.sinclair-solutions.com/cs/produkty/multi-variable-serie-r32/nastenne-jednotky/6481-mv-h07bif-053031000002430.html>
- [36] ČSN EN 12831: *Tepelné soustavy v budovách - výpočet tepelného výkonu*. 2005.
- [37] ČSN 73 0548: *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. 1986.
- [38] *AKUMULAČNÍ NÁDRŽE NAD, NADO: ideové zapojení*. Benátky nad Jizerou: Družstevní závody Dražice, b.r.
- [39] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-82-7.
- [40] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR: IV. čtvrtletí 2018*. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2018, 37 s.

- [41] *Průkaz energetické náročnosti budovy*. Brno, 2016.
- [42] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, a.s., 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [43] KAŠÍK, Petr. Jaká je správná koncentrace CO₂ ve zdravé budově?. *Tzbinfo* [online]. Praha: AMiT, 2018 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/17612-jaka-je-spravna-koncentrace-co2-ve-zdrave-budove>
- [44] *TPW 170 01: Koncept větrání*. Praha: Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2017.
- [45] *ASHRAE Handbook*. SI edition. Atlanta: ASHRAE, 2013. ISBN 9781936504466.
- [46] *KLIMAFLEX SB: Příslušenství pro flexibilní potrubí*. Odry: MATEICIUC, b.r.
- [47] *TEMPLARI THE HEAT PUMP: Air-Water and Air-Air Heat Pumps*. Rubano (Italia): Templari, b.r.

Seznam použitých zkratek

CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
H ₂ O	voda
MaR	měření a regulace
NO _x	oxidy dusíku
N ₂	dusík
O ₂	kyslík
ppm	z anglického „parts per milion“, počet částic na jeden milion
TV	teplá voda
ZTI	Zdravotně-technická instalace

Seznam použitých symbolů

a	[°]	sluneční azimut
a_v	[m ² ·s ⁻¹]	součinitel teplotní vodivosti
A	[m ²]	povrch vzduchovodu, kterým prochází teplo
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
c_L	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu
c_s	[m]	hloubka vodorovného slunolamu
c_0	[-]	korekce na čistotu atmosféry
c_1	[-]	součinitel současnosti
c_2	[-]	zbytkový součinitel
c_3	[-]	průměrné zatížení
C	[-]	experimentálně zjištěná konstanta
d	[m]	vnitřní průměr potrubí
dk	[kg·m ⁻³]	změna koncentrace škodliviny v čase $d\tau$
d_s	[m]	hloubka svislého slunolamu
$d\tau$	[s]	čas
e_1	[m]	délka stínu vrženého svislým slunolamem
e_2	[m]	délka stínu vrženého vodorovným slunolamem
f_s	[m]	vzdálenost svislého slunolamu od zasklení
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
g_s	[m]	vzdálenost vodorovného slunolamu od zasklení
G_i	[W·m ⁻²]	iradiace (ozáření povrchu) tělesa i
Gr_L	[-]	střední Grashofovo číslo
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
H	[m]	nadmořská výška
i_d	[-]	počet dětí
i_m	[-]	počet mužů
i_z	[-]	počet žen
i_1	[-]	ekvivalentní počet lidí
I_d	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní sluneční radiace
I_D	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu
I_{Dk}	[W·m ⁻²]	intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou slunečním paprskům
I_{Ok}	[W·m ⁻²]	celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
$I_{Ok\ d}$	[W·m ⁻²]	intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem
k	[kg·m ⁻³]	okamžitá koncentrace škodliviny
k_p	[kg·m ⁻³]	koncentrace škodliviny v přiváděném vzduchu
l	[J·kg ⁻¹]	latentní teplo
l_A	[m]	šířka okna
l_B	[m]	výška okna
L	[m]	charakteristický rozměr horizontální rovinné desky
L_p	[m]	délka potrubí
m	[-]	součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou
M	[kg]	hmotnost
\dot{M}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
n	[-]	počet hodin
n_{oken}	[-]	počet oken
Nu_L	[-]	střední Nusseltovo číslo

O	[m ³]	objem místnosti
P	[m]	obvod desky
Pr	[-]	střední Prandtlovo číslo
\dot{P}	[W]	příkon
q, r	[-]	experimentálně zjištění exponenty
Q_{12}	[J]	předávané teplo
\dot{q}	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok
\dot{q}_k	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok konvekci
\dot{Q}	[W]	tepelný zisk od jiných zdrojů tepla
\dot{Q}_e	[W]	tepelný zisk od elektronických zařízení
\dot{Q}_g	[W]	tepelný zisk od dopravovaného zboží
\dot{Q}_i	[W]	tepelný tok přenášený na povrchu tělesa i
\dot{Q}_{ic}	[W]	tepelná zátěž klimatizovaného prostoru
\dot{Q}_L	[W]	tepelné zisky z přívodu čerstvého větracího vzduchu
\dot{Q}_m	[W]	tepelný zisk ze sousedních místností
\dot{Q}_{ok}	[W]	tepelný zisk konvekci okny
\dot{Q}_{or}	[W]	tepelný zisk sluneční radiací okny
$\dot{Q}_{or a}$	[W]	tepelný zisk sluneční radiací okny zmenšený o akumulaci
$\dot{Q}_{or i}$	[W]	zisk sluneční radiací okny v i-té hodině
$\dot{Q}_{or m}$	[W]	průměrný zisk sluneční radiací okny
$\dot{Q}_{or sk}$	[W]	skutečný tepelný zisk sluneční radiací okny
\dot{Q}_p	[W]	chladicí výkon panelu
\dot{Q}_{s1}	[W]	tepelný zisk středně těžkou stěnou
\dot{Q}_{s2}	[W]	tepelný zisk těžkou stěnou
\dot{Q}_{SV}	[W]	tepelná zátěž od svítidel
\dot{Q}_v	[W]	tepelný zisk od větracího vzduchu
\dot{Q}_z	[W]	tepelný zisk od vzduchovodu
\dot{Q}_1	[W]	produkce tepla od lidí
\dot{Q}_{12}	[W]	předávaný výkon
Ra_L	[-]	Rayleighovo číslo
Re_L	[-]	střední Reynoldsovo číslo
s	[-]	stínící součinitel
S	[m ²]	plocha, průřez
S_i	[m ²]	plocha povrchu tělesa i
S_o	[m ²]	celková plocha oken
S_{os}	[m ²]	osluněná plocha oken
S_p	[m ²]	průtočný průřez potrubí
S_s	[kg·s ⁻¹]	množství vznikající škodliviny
t_{aku}	[m]	akumulační tloušťka konstrukce
t_e	[°C]	teplota nasávaného vzduchu
t_e	[°C]	vnější teplota
t_i	[°C]	vnitřní teplota
t_{is}	[°C]	teplota sousední místnosti
t_{sk}	[m]	skutečná tloušťka konstrukce
t_{rm1}	[°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
t_{rm2}	[°C]	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
$t_{r\psi}$	[°C]	rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější

t_1	[°C]	teplota vzduchu na vstupu
t_2	[°C]	teplota vzduchu na výstupu
t'	[°C]	teplota vzduchu na vstupu do místnosti
t''	[°C]	teplota vzduchu na výstupu z místnosti
T_D	[-]	celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace standardního okna
T_{D0}	[-]	propustnost difuzní radiace standardního okna
T_i	[K]	teplota tělesa i
T_w	[K]	povrchová teplota
T_1	[K]	teplota soustavy na počátku předávání tepla
T_2	[K]	teplota soustavy na konci předávání tepla
T_∞	[K]	teplota vzduchu mimo termickou mezní vrstvu
u_∞	[m·s ⁻¹]	střední hodnota rychlosti proudění
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla
U_o	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla oknem
v	[m·s ⁻¹]	střední rychlost proudění v potrubí
V	[m ³]	objem
\dot{V}	[m ³ ·s ⁻¹]	objemový průtok
\dot{V}_L	[m ³ ·s ⁻¹]	přívod čerstvého vzduchu
\dot{V}_p	[m ³ ·s ⁻¹]	objemový tok přiváděného vzduchu
w	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění vzduchu ve vzduchovodu
z	[-]	součinitel znečištění atmosféry
α	[°]	úhel stěny s vodorovnou rovinou
α_k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla konvekcí
$\alpha_{k,s}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním
α_1	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na straně 1 konstrukce
α_2	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na straně 2 konstrukce
$\bar{\alpha}_L$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	střední součinitel přestupu tepla
β	[K ⁻¹]	součinitel teplotní roztažnosti
γ	[°]	azimutový úhel normály stěny
δ	[m]	tloušťka stěny
δ_i	[m]	tloušťka i-té vrstvy konstrukce
Δp	[Pa]	celková tlaková ztráta
Δp_L	[Pa]	délková tlaková ztráta
Δp_m	[Pa]	místní tlaková ztráta
Δp_{1m}	[Pa·m ⁻¹]	délková tlaková ztráta na 1 m délky potrubí
$\Delta \dot{Q}$	[W]	snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken
Δt	[K]	ohřátí vzduchu ve vzduchovodech
Δt_m	[K]	střední rozdíl teplot
Δt_{max}	[K]	maximální přípustné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru
ε_i	[-]	poměrná zářivost tělesa i
θ	[°]	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků
θ	[°]	úhel mezi normálou k oknu a slunečními paprsky
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelná vodivost
λ_i	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy konstrukce
λ_L	[-]	součinitel délkové tlakové ztráty
ν	[m ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita
ξ	[-]	součinitel místní tlakové ztráty
π	[-]	Ludolfovo číslo

ρ	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota
ρ_L	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota vzduchu
ρ_S	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}]$	plošná hustota
σ	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}]$	Stefan-Boltzmannova konstanta
$\Sigma\dot{Q}$	$[\text{W}]$	celkové tepelné zisky
ψ	$[\text{h}]$	fázové posunutí teplotních kmitů

Seznam obrázků

Obr. 1 – Příklad diagramu komfortních zón [15] podle ekvivalentní teploty dle ČSN EN ISO 14505-2 [14]	18
Obr. 2 – Schéma větrací jednotky s rekuperací, upraveno z [20] [21].....	22
Obr. 3 – Flexibilní plastové potrubí [24].....	22
Obr. 4 – Designový kruhový skleněný ventil [24]	23
Obr. 5 – Talířový ventil [24]	23
Obr. 6 – Schéma rozdělení sálavých chladicích systémů [13].....	29
Obr. 7 – Schéma kompresorového chladicího zařízení [19]	30
Obr. 8 – Venkovní jednotka kompresorového chladicího zařízení Sinclair MV-E28BI [34].....	31
Obr. 9 – Vnitřní jednotka kompresorového chladicího zařízení Sinclair MV-H07BIF [35]	31
Obr. 10 – Akumulační nádrž, upraveno z [38].....	40
Obr. 11 – Bytový dům, ve kterém se nachází řešený byt.....	43
Obr. 12 – Mapa polohy bytu [42].....	43
Obr. 13 – Graf velikosti tepelných zisků bytu dle ČSN 73 0548 pro normovaný den 21. 7.....	55
Obr. 14 – Graf velikosti tepelných zisků bytu dle softwaru TepZisky2016 pro měsíc s nejvyššími tepelnými zisky (srpen)	55

Seznam tabulek

Tab. 1 – Tepelná produkce člověka v závislosti na činnosti [11]	17
Tab. 2 – Požadované výměny vzduchu dle různých norem [4] [17] [18]	20
Tab. 3 – Požadavky na odvod vzduchu dle různých norem [4] [17] [18]	21
Tab. 4 – Základní parametry bytu	42
Tab. 5 – Velikost místností bytu	42
Tab. 6 – Součinitelé prostupu tepla [41]	42
Tab. 7 – Skutečná koncentrace CO ₂ při určených parametrech a kontinuálním větrání	45
Tab. 8 – Doba k dosažení koncentrace CO ₂ 1000 ppm po dokonalém vyvětrání a následné nulové výměně vzduchu	45
Tab. 9 – Maximální tepelné zisky místností a bytu pro normovaný den 21. 7. dle ČSN 73 0548 [37]	54
Tab. 10 – Maximální tepelné zisky místností a bytu dle softwaru TepZisky2016	55
Tab. 11 – Tlakové ztráty flexibilního potrubí jednotlivých větví	59
Tab. 12 – Parametry Templari Kita 10 Si [47]	61
Tab. 13 – Seznam vnitřních chladicích jednotek	61
Tab. 14 – Maximální chladicí výkon stropních panelů	63
Tab. 15 – Průtok chladicího média při maximálním výkonu stropních panelů	64
Tab. 16 – Minimální plocha stěnových sálavých panelů pro pokrytí tepelných zisků chlazených místností	64

Seznam příloh

- P1 Excel – výpočet CO₂
- P2 Excel – výpočet chladicích stropů a stěn
- P3 Excel – výpočet tepelných zisků programem TepZisky2016
- P4 Excel – výpočet tepelných zisků dle ČSN 73 0548 [37]
- P5 Excel – výpočet tlakových ztrát vzduchotechniky
- P6 Výkres – půdorys bytu
- P7 Výkres – vzduchotechnika
- P8 Kusovník – vzduchotechnika
- P9 Výkres – stropní chlazení
- P10 Výkres – chlazení systémem multisplit